



**Filipe Miguel Gomes Loureiro**

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

## **Análise de Conforto Térmico dos Gabinetes do Edifício de Engenharia Civil da FCT/UNL**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre  
em Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Professor Doutor Daniel Aelenei,  
Professor Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João C. G. R. Almeida  
Arguente: Prof. Doutora Laura Aelenei  
Vogal: Prof. Doutor Daniel Aelenei



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro de 2017**



Análise de Conforto Térmico dos Gabinetes do Edifício de Engenharia Civil da FCT/UNL

“Copyright” Filipe Miguel Gomes Loureiro, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou em forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.





# Agradecimentos

Gostaria de exprimir a minha mais sincera gratidão a todas as pessoas que contribuíram para que a realização desta dissertação fosse possível, assim como a realização de todas as etapas pelas quais passei ao longo do meu percurso académico.

Em primeiro lugar, agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Daniel Aelenei, por quem tenho uma enorme admiração, pela oportunidade e confiança que depositou em mim na realização em conjunto desta dissertação. Por todo o seu apoio, pela disponibilidade, pelos esclarecimentos, pela dedicação, pelas discussões de ideias e ensinamentos fundamentais.

A todos os colegas com que tive o prazer conviver, trabalhar e partilhar experiências durante todo o meu percurso académico, a todos os meus amigos que não estando diretamente ligados ao meu percurso académico, também tiveram um papel preponderante na realização desta dissertação. A todos eles gostaria de deixar um agradecimento, mas em especial ao André Rodrigues, Carolina Gomes, Diogo Gregório, Inês de Carvalho, João Nunes, José Maria Gomes, Misael Gonçalves, Vanessa Matos, pelo forte apoio, pela amizade, pela ajuda e por todos os bons e maus momentos que partilhámos.

À Joana Rita de Brito pela amizade, cumplicidade, compreensão, apoio, paciência e pela presença em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis. Pelo interesse constante demonstrado, por estar sempre por perto, pelos conselhos, por me incentivar a fazer mais e melhor e por todo o tempo que abdicámos para que a conclusão desta etapa fosse possível.

A toda a minha família, mas em especial ao meu tio José Gomes pela paciência e pelo apoio incondicional e pelos conselhos, tanto a nível pessoal como académico. Sem este enorme apoio não teria sido possível, e ao meu avô Silvério pelo interesse e orgulho que demonstrou e pela força que me deu para continuar este percurso, mesmo nos momentos mais difíceis.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação académica e cívica, e em especial ao Professor Doutor Fernando Henriques que teve um papel crucial na minha escolha do Perfil de Construção, pela forma como aborda os temas que leciona.

O meu sincero obrigado a estas pessoas, sem elas não teria sido possível!

Finalmente, não poderia deixar de agradecer à instituição e ao departamento que frequentei estes anos, à FCT/UNL e ao Departamento de Engenharia Civil por me terem proporcionado uma formação de elevada qualidade.



# Resumo

Em Portugal, muitos edifícios não garantem as condições mínimas de conforto térmico. Este facto deve-se à escassa regulamentação existente nesta área, sobretudo até 1990, e ao grande crescimento verificado no setor da construção civil. Neste tipo de edifícios o conforto térmico é reajustado à custa de um consumo energético muito elevado.

Todos estes fatores sugerem a necessidade de avaliar a capacidade de melhoria dos edifícios, de forma a que, através da implementação de algumas soluções e medidas passivas adequadas, seja possível atingir níveis de conforto térmico aceitáveis sem recorrer a equipamentos e sistemas de climatização.

A presente dissertação visa caracterizar as condições de conforto térmico dos gabinetes do edifício de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

O estudo do conforto térmico no edifício em estudo realizou-se através de duas vias distintas. Realizou-se um questionário com o objetivo de conhecer a opinião dos ocupantes dos gabinetes relativamente ao conforto térmico. Posteriormente, realizou-se uma avaliação das condições de conforto térmico recorrendo às normas ASHRAE Standard 55 e EN 15251 e a uma ferramenta de simulação dinâmica (*EnergyPlus*).

Os resultados dos questionários e da análise da simulação dinâmica permitiram retirar várias conclusões, a mais relevante sendo associada a um conforto térmico deficitário. Com base nas simulações realizadas concluiu-se ainda que a adoção de medidas passivas adequadas poderá aumentar os níveis de conforto térmico sem recorrer a sistemas de climatização, quer no Inverno quer no Verão.

## PALAVRAS-CHAVE

Conforto Térmico Adaptativo, Edifícios Escolares, *EnergyPlus*, Avaliação com Questionários



# Abstract

In Portugal, many buildings do not guarantee minimum conditions of thermal comfort. This is due to the insufficient regulation in this area, especially until 1990, and to the great growth observed in the construction sector. In this type of buildings thermal comfort is readjusted at the expense of a very high energy consumption.

All these factors suggest the need to evaluate the improvement capacity of the buildings. It is possible to achieve levels of thermal comfort without resorting to air conditioning systems, through the implementation of some suitable solutions and passive measures.

The present dissertation aims to characterize the thermal comfort conditions of the Civil Engineering building of the *Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa*, using various models proposed in different regulatory standards.

The study of thermal comfort in the building under study was carried out through two distinct paths. A survey was carried out with the objective of knowing the opinion of the occupants of cabinets regarding the thermal comfort during their effective use. The other evaluation was carried out using the methodologies described in the ASHRAE Standard 55 and EN 15251 standards and a dynamic simulation tool (EnergyPlus).

The results of the surveys and the analysis of the dynamic simulation allowed to draw several conclusions, the most relevant being associated with a deficitary thermal comfort. Based on the simulations carried out, it was also concluded that the adoption of adequate passive measures increases the levels of thermal comfort without the need to resort to air conditioning systems, both in winter and summer.

## KEY-WORDS

Adaptive Thermal Comfort, School Buildings, EnergyPlus, Evaluation with Surveys



# Índice

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>III</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>V</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>VII</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>XI</b>
<b>Índice de Tabelas .....</b>	<b>XV</b>
<b>Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos .....</b>	<b>XVII</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento do Tema .....	1
1.2. Objetivo .....	2
1.3. Estrutura da Dissertação.....	2
<b>2. Conforto Térmico.....</b>	<b>5</b>
2.1. Eficiência Energética.....	5
2.2. Noções Básicas do Comportamento Térmico de Edifícios.....	6
2.2.1. Transferências de calor .....	7
2.2.2. Coeficiente de Transmissão Térmica .....	9
2.3. Parâmetros que Influenciam o Conforto Térmico .....	10
2.3.1. Características Físicas .....	10
2.3.2. Características Fisiológicas e Fatores Externos .....	11
2.3.3. Desconforto Térmico Localizado .....	12
2.4. Estado do Conhecimento.....	14
<b>3. Legislação .....</b>	<b>21</b>
3.1. Evolução da Legislação em Portugal.....	21
3.2. Normalização do Conforto Térmico .....	24
3.2.2. ISO 7730.....	25
3.2.3. EN 15251 .....	26
<b>4. Apresentação do Caso de Estudo .....</b>	<b>27</b>
4.1. Nota Histórica e Evolução do Campus da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa .....	27
4.2. Identificação e Caracterização do Caso de Estudo .....	29
4.2.1. Generalidades.....	29
4.2.2. Caracterização das Soluções Construtivas .....	32
4.3. Padrões de Utilização .....	33
<b>5. Metodologia de Estudo .....</b>	<b>35</b>
5.1. Desenvolvimento e Apresentação do Questionário.....	35
5.2. Caracterização da Amostra .....	36
5.3. Análise dos Resultados.....	36
5.4. Modelos de Conforto Térmico.....	43
5.4.1. Modelos Analíticos.....	43
5.4.2. Modelos Adaptativos .....	43
5.5. Apresentação do programa <i>EnergyPlus</i> .....	49

5.5.1.	Considerações Gerais .....	49
5.5.2.	Modelo de Simulação .....	49
5.5.3.	Dados Climáticos .....	50
<b>6.</b>	<b>Análise dos Resultados das Simulações .....</b>	<b>51</b>
6.1.	Considerações Iniciais .....	51
6.2.	Solução Existente .....	52
6.2.1.	Período de Aquecimento .....	52
6.2.2.	Período de Arrefecimento .....	56
6.3.	Soluções Analisadas .....	60
6.3.1.	Solução 1 .....	60
6.3.2.	Soluções 2 e 3 .....	68
6.3.3.	Soluções 4, 5 e 6 .....	76
6.3.4.	Solução 7 .....	84
6.3.5.	Solução 8 .....	88
6.4.	Soluções Propostas .....	92
6.4.1.	Combinações 1 a 4 .....	93
6.4.1.	Combinações 5 a 8 .....	95
6.4.2.	Considerações Finais .....	106
<b>7.</b>	<b>Conclusões e Desenvolvimentos Futuros .....</b>	<b>109</b>
7.1.	Conclusões Finais .....	109
7.2.	Desenvolvimentos Futuros .....	110
<b>8.</b>	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>111</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>115</b>
	<b>Anexo I – Desenhos de Arquitetura do Edifício em Estudo .....</b>	<b>117</b>
	<b>Anexo II – Questionário Distribuído aos Ocupantes dos Gabinetes do Edifício em Estudo .....</b>	<b>125</b>
	<b>Anexo III – Padrões de Utilização do Edifício .....</b>	<b>127</b>
	<b>Anexo IV – Temperatura Média Exterior Ponderada (EN 15251) .....</b>	<b>131</b>
	<b>Anexo V – Temperatura Exterior Mensal Média (ASHRAE Standard 55) .....</b>	<b>135</b>



# Índice de Figuras

Figura 2.1 - Comparação dos consumos de energia em Portugal por setor de atividade (3) .....	5
Figura 2.2 – Evolução das necessidades energéticas para aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> ) (4) .....	6
Figura 2.3 – Transferências de calor num edifício (6) .....	7
Figura 2.4 - Desconforto térmico local causado pela assimetria da temperatura radiante [adaptado de (8)] .....	12
Figura 2.5 – Desconforto local causado pela diferença de temperatura do ar na vertical (8) ....	13
Figura 2.6 - Desconforto local causado pela temperatura do pavimento (8) .....	14
Figura 2.7 – Nomogramas da temperatura efetiva corrigida para pessoas vestidas normalmente e despidas da cintura para cima (12) .....	15
Figura 2.8 - Indivíduos na câmara de teste ambiental na Universidade Técnica da Dinamarca (14) .....	17
Figura 2.9 – Índice de PPD em função do PMV (2) .....	17
Figura 2.10 – Extensão da zona de conforto em torno da zona neutra (16) .....	18
Figura 3.1 - Faixa aceitável de conforto térmico (2) .....	25
Figura 4.1 - Localização do Campus da FCT/UNL [adaptado de (29)] .....	27
Figura 4.2 - Campus da FCT/UNL em 1991 (28) .....	28
Figura 4.3 - Campus da FCT/UNL em 2017 (30) .....	28
Figura 4.4 - Localização do caso de estudo no campus da FCT/ UNL [adaptado de (32)] .....	30
Figura 4.5 – Edifício em estudo .....	30
Figura 4.6 - Planta ilustrativa dos pisos do edifício estudado com as zonas em estudo identificadas a tracejado .....	31
Figura 5.1 – Estrutura do questionário .....	35
Figura 5.2 – Representação gráfica da distribuição dos inquiridos por género .....	36
Figura 5.3 - Representação gráfica da distribuição dos inquiridos por faixa etária .....	36
Figura 5.4 - Representação gráfica da distribuição do horário de entrada dos inquiridos .....	37
Figura 5.5 - Representação gráfica da distribuição do horário de saída dos inquiridos .....	37
Figura 5.6 – Representação gráfica da distribuição do desconforto térmico sentido pelos inquiridos .....	38
Figura 5.7 – Representação gráfica da distribuição do período do ano em que os inquiridos mais sentem desconforto térmico .....	38
Figura 5.8 - Classificação da sensação térmica dos inquiridos para o período de Inverno .....	39
Figura 5.9 - Índices de sensação térmica agrupados .....	39
Figura 5.10 - Representação gráfica da distribuição dos equipamentos utilizados pelos inquiridos para o período de aquecimento (Inverno) .....	40
Figura 5.11 - Representação gráfica da distribuição da frequência de utilização pelos inquiridos dos equipamentos para o período de aquecimento (Inverno) .....	40
Figura 5.12 - Classificação da sensação térmica dos docentes inquiridos para o período de Verão .....	41
Figura 5.13 - Índices de sensação térmica agrupados .....	41
Figura 5.14 - Representação gráfica da distribuição dos equipamentos utilizados pelos inquiridos para o período de arrefecimento (Verão) .....	42
Figura 5.15 - Representação gráfica da distribuição da frequência de utilização pelos inquiridos dos equipamentos para o período de arrefecimento (Verão) .....	42
Figura 5.16 – Intervalo aceitável para o conforto térmico para espaços sem sistemas de aquecimento ou arrefecimento ativos (2) .....	45
Figura 5.17 – Valores de projeto para a temperatura operativa interior em função da temperatura média exterior ponderada exponencialmente para edifícios com ventilação natural (26) .....	47
Figura 5.18 – Representação 3D do modelo de simulação correspondente à zona do edifício em estudo .....	50
Figura 5.19 – Representação das zonas térmicas consideradas .....	50
Figura 6.1 - Planta ilustrativa dos gabinetes analisados, identificados a tracejado .....	51
Figura 6.2 - Evolução das temperaturas exterior e média do ar na zona 1 nos dias 1 e 2 de fevereiro .....	53
Figura 6.3 - Evolução das temperaturas exterior e média do ar na zona 3 nos dias 1 e 2 de fevereiro .....	53

Figura 6.4 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	54
Figura 6.5 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	54
Figura 6.6 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	55
Figura 6.7 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	55
Figura 6.8 - Evolução das temperaturas exterior e média do ar da zona 1 nos dias 1 e 2 de julho.....	56
Figura 6.9 - Evolução das temperaturas exterior e média do ar da zona 3 nos dias 1 e 2 de julho.....	57
Figura 6.10 - Análise adaptativa para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	58
Figura 6.11 - Análise adaptativa para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	58
Figura 6.12 - Análise adaptativa para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	59
Figura 6.13 - Análise adaptativa para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	59
Figura 6.14 – Comparação da evolução das temperaturas exterior e média do ar na zona 1 nos dias 1 e 2 de fevereiro .....	61
Figura 6.15 – Comparação da evolução das temperaturas exterior e média do ar na zona 3 nos dias 1 e 2 de fevereiro .....	61
Figura 6.16 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	62
Figura 6.17 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	63
Figura 6.18 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	63
Figura 6.19 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	64
Figura 6.20 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 1 na zona 1 nos dias 1 e 2 de julho .....	65
Figura 6.21 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 1 na zona 3 nos dias 1 e 2 de julho .....	65
Figura 6.22 - Comparação da solução existente com a solução 1 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	66
Figura 6.23 - Comparação da solução existente com a solução 1 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	67
Figura 6.24 - Comparação da solução existente com a solução 1 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	67
Figura 6.25 - Comparação da solução existente com a solução 1 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	68
Figura 6.26 – Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 3 na zona 1 nos dias 1 e 2 de fevereiro .....	69
Figura 6.27 – Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 3 na zona 3 nos dias 1 e 2 de fevereiro .....	69
Figura 6.28 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	70
Figura 6.29 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	71
Figura 6.30 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	71
Figura 6.31 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	72
Figura 6.32 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 3 na zona 1 nos dias 1 e 2 de julho .....	73

Figura 6.33 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 3 na zona 1 nos dias 1 e 2 de julho .....	73
Figura 6.34 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	74
Figura 6.35 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	75
Figura 6.36 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	75
Figura 6.37 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	76
Figura 6.38 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e as soluções 4 e 6 na zona 1 nos dias 1 e 2 de fevereiro .....	77
Figura 6.39 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e as soluções 4 e 6 na zona 3 nos dias 1 e 2 de fevereiro .....	77
Figura 6.40 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	78
Figura 6.41 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	79
Figura 6.42 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	79
Figura 6.43 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	80
Figura 6.44 – Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e as soluções 4 e 6 na zona 1 nos dias 1 e 2 de julho .....	81
Figura 6.45 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e as soluções 4 e 6 na zona 3 nos dias 1 e 2 de julho .....	81
Figura 6.46 – Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	82
Figura 6.47 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	83
Figura 6.48 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	83
Figura 6.49 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	84
Figura 6.50 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 7 na zona 1 nos dias 1 e 2 de julho .....	85
Figura 6.51 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 7 na zona 3 nos dias 1 e 2 de julho .....	85
Figura 6.52 – Comparação da solução existente com a solução 7 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	86
Figura 6.53 - Comparação da solução existente com a solução 7 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	87
Figura 6.54 – Comparação da solução existente com a solução 7 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	87
Figura 6.55 - Comparação da solução existente com a solução 7 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	88
Figura 6.56 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 8 na zona 3 nos dias 1 e 2 de julho .....	89
Figura 6.57 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 8 na zona 3 nos dias 1 e 2 de julho .....	89
Figura 6.58 - Comparação da solução existente com a solução 8 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	90
Figura 6.59 - Comparação da solução existente com a solução 8 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	91
Figura 6.60 - Comparação da solução existente com a solução 8 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	91
Figura 6.61 - Comparação da solução existente com a solução 8 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	92

Figura 6.62 - Comparação da solução existente com as combinações 3 e 4 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	94
Figura 6.63 - Comparação da solução existente com as combinações 3 e 4 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	94
Figura 6.64 - Comparação da solução existente com as combinações 3 e 4 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	95
Figura 6.65 - Comparação da solução existente com as combinações 3 e 4 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	95
Figura 6.66 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	96
Figura 6.67 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	97
Figura 6.68 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	97
Figura 6.69 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	98
Figura 6.70 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	99
Figura 6.71 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	99
Figura 6.72 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	100
Figura 6.73 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	100
Figura 6.74 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	101
Figura 6.75 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	102
Figura 6.76 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	102
Figura 6.77 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	103
Figura 6.78 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251 .....	104
Figura 6.79 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55 .....	104
Figura 6.80 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251 .....	105
Figura 6.81 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55 .....	105

# Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Metabolismo humano para diferentes atividades (2) .....	11
Tabela 2.2 – Efeito dos erros adaptativos (16) .....	18
Tabela 3.1- Evolução legislativa em Portugal .....	22
Tabela 3.2 – Limites de desconforto para as categorias de ambiente térmico (8) .....	26
Tabela 3.3 - Valores de PMV e PPD de acordo com as categorias de edifícios (26) .....	26
Tabela 4.1- Data de construção dos edifícios do Campus da FCT/UNL (28) .....	29
Tabela 4.2 – Áreas em contato com o ambiente exterior por zonas .....	31
Tabela 4.3 - Coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores (zona corrente) .....	32
Tabela 4.4 - Coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores (zona estrutural) .....	32
Tabela 4.5 - Coeficiente de transmissão térmica das paredes interiores .....	33
Tabela 4.6 - Coeficiente de transmissão térmica para laje/pavimento .....	33
Tabela 4.7 - Coeficiente de transmissão térmica para o vão envidraçado [adaptado de (33)] ..	33
Tabela 5.1 - Escala de sensações térmicas (2) .....	43
Tabela 5.2 - Intervalos de aceitabilidade para a temperatura operativa .....	44
Tabela 5.3 - Categorias de aplicabilidade e descrição (26) .....	46
Tabela 5.4 – Intervalos para a temperatura operativa por categorias (26) .....	47
Tabela 5.5 - Valores de projeto para a temperatura operativa interior dos edifícios e sistemas AVAC (26) .....	47
Tabela 5.6 - Limites de temperaturas para aquecimento e arrefecimento por categoria e tipo de edifício (26) .....	48
Tabela 6.1 – Temperatura média exterior fornecida pelo <i>EnergyPlus</i> em cada mês .....	52
Tabela 6.2 - Definição das soluções consideradas para melhoramento térmico do edifício .....	60
Tabela 6.3 – Combinações das soluções consideradas para melhoramento térmico do edifício .....	92
Tabela A.IV. 1- Temperatura média exterior ponderada para o dia anterior – Período de aquecimento e de arrefecimento (EN 15251) .....	131
Tabela A.IV. 2 - Temperatura exterior e temperatura média exterior ponderada – Período de aquecimento .....	132
Tabela A.IV. 3 - Temperatura exterior e temperatura média exterior ponderada – Período de arrefecimento .....	133
Tabela A.V. 1 - Temperatura exterior mensal média, $t_{a(out)}$ .....	135
Tabela A.V. 2 - Temperaturas médias diárias obtidas com recurso ao <i>EnergyPlus</i> - Período de aquecimento .....	136
Tabela A.V. 3 - Temperaturas médias diárias obtidas com recurso ao <i>EnergyPlus</i> - Período de arrefecimento .....	137



# Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
ASHVE	<i>American Society of Heating and Ventilating Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
CET	<i>Corrected effective temperature</i>
DEC	Departamento de Engenharia Civil
DOE	<i>Department of Energy</i>
EN	Norma Europeia
ET	Temperatura Efetiva
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
EUA	Estados Unidos da América
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologia
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITE	Informação Técnica de Edifícios
LNCE	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
nZEB	<i>Nearly Zero Energy Buildings</i>
PMV	<i>Predicted mean vote</i>
PPD	<i>Predicted percent of dissatisfied people</i>
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RSECE	Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética
UNL	Universidade Nova de Lisboa

A	Área	$m^2$
clo	Resistência Térmica do Vestuário	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
$d_i$	Diferença de comprimento na direcção i	m
$dT$	Diferença de temperatura	$^\circ C$
e	Espessura de um material	m
$h_c$	Condutância térmica superficial por convecção	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
met	Metabolismo	$W/m^2$
q	Fluxo de calor	$W/m^2$
Q	Quantidade de calor	W
$q_c$	Fluxo de calor por convecção	$W/m^2$
$q_i$	Fluxo de calor na direcção i	$W/m^2$
$q_r$	Fluxo de calor por radiação	$W/m^2$
R	Resistência térmica de um material	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
$R_{ar}$	Resistência térmica do espaço de ar criado entre as duas janelas	$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$
$R_{se}$	Resistência térmica superficial exterior	$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$
$R_{si}$	Resistência térmica superficial interior	$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$
$R_t$	Resistência térmica total	$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$
$T_1$	Temperatura da superfície	$^\circ C$
$T_2$	Temperatura da superfície	$^\circ C$
$t_a$	Temperatura média do ar	$^\circ C$
$t_{a(out)}$	Temperatura exterior média mensal	$^\circ C$
$T_{env}$	Temperatura absoluta da superfície envolvente	K

$t_o$	Temperatura operativa	$^{\circ}\text{C}$
$t_r$	Temperatura média radiante	$^{\circ}\text{C}$
$T_s$	Temperatura absoluta da superfície emissora	K
$U$	Coeficiente de transmissão térmica	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$
$U_w$	Coeficiente de transmissão térmica da janela dupla	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$
$U_{w1}$ e $U_{w2}$	Coeficiente de transmissão térmica de cada uma das janelas simples	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$
$\varepsilon$	Emissividade da superfície	-
$\Theta_{rm}$	Temperatura média exterior ponderada para o dia atual	$^{\circ}\text{C}$
$\Theta_{ed-1}$	Temperatura diária média exterior para o dia anterior	$^{\circ}\text{C}$
$\Theta_{rm-1}$	Temperatura média exterior ponderada para o dia anterior	$^{\circ}\text{C}$
$\Theta_{ed-i}$	Temperatura diária média exterior para o dia anterior i	$^{\circ}\text{C}$
$\lambda$	Condutibilidade térmica de um material	$\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann	$\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$



# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento do Tema

Há cerca de 40 anos, não existiam preocupações com questões relativas ao conforto térmico ou à eficiência energética dos edifícios. Até aos anos 90, esta área não era regulada e o grande crescimento verificado no sector da construção civil contribuiu para que os valores de consumos energéticos em Portugal fossem bastante elevados. Este facto deve-se, sobretudo, à escassa eficiência que os edifícios apresentam. Assim, uma grande parte dos custos de funcionamento de um edifício são atribuídos a gastos de energia para o aquecimento ou arrefecimento dos mesmos.

A crescente preocupação com o conforto térmico no interior dos edifícios acompanhou o desenvolvimento socioeconómico das populações, tornando-se assim um parâmetro de maior relevância na vida das mesmas. Nos últimos anos, o aumento das exigências de conforto térmico por parte dos utilizadores dos edifícios contribuiu para um aumento considerável do consumo energético dos mesmos, uma vez que para manter um elevado nível de conforto térmico é necessário um elevado gasto energético.

Hoje em dia, existe uma preocupação crescente relativamente à eficiência energética dos edifícios. A nível Europeu, foram implementadas medidas e definidas metas para os estados membros com o objetivo de combater os elevados gastos energéticos. Essas mesmas medidas e metas são relativas às características da envolvente e ao consumo de energia primária e encontram-se compiladas na diretiva europeia EPBD. Esta diretiva é mais exigente do que as publicadas anteriormente e obriga a que até ao final de 2018 todos os novos edifícios públicos tenham um balanço energético quase nulo (nZEB) e que, até ao final de 2020, esta regra seja aplicada a todos os novos edifícios. Um edifício nZEB é um edifício com necessidades energéticas quase nulas, ou seja, o edifício tem necessidades energéticas muito pequenas que, por sua vez, deverão provir de fontes renováveis produzidas no local ou nas proximidades (1).

Para se cumprir esta “necessidade energética quase nula” é necessária uma análise mais aprofundada sobre conforto térmico de espaços interiores habitáveis, com o objetivo de obter soluções que visem melhorar o desempenho do edifício sem necessidade de recorrer a sistemas de climatização. Estas soluções de melhoria devem passar em primeiro lugar, por uma boa conceção, que seja adaptada, não só à zona climática, como também às condições interiores e ao tipo de utilização.

## 1.2. Objetivo

O principal objetivo da presente dissertação consiste em estudar o desempenho térmico dos gabinetes individuais dos docentes do edifício de Engenharia Civil, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, através de um modelo de simulação realizado no programa *EnergyPlus*. Pretende estudar-se a influência que certos parâmetros têm no conforto térmico dos gabinetes, verificando se as soluções testadas cumprem as condições de conforto térmico apresentadas nas normas existentes e se existe uma melhoria térmica destas zonas sem ser necessário recorrer a sistemas de climatização artificiais.

Com vista à concretização do objetivo mencionado anteriormente, serão realizadas as seguintes tarefas:

- Desenvolvimento de um questionário para avaliar o nível de conforto térmico pelos utilizadores dos gabinetes;
- Análise dos questionários para aferir o grau de desconforto térmico existente e o período do ano em que se verifica;
- Desenvolvimento de um modelo de simulação com recurso ao programa *EnergyPlus*;
- Estudo de várias soluções através da alteração das características construtivas do edifício por forma a avaliar se o conforto térmico está assegurado, com o edifício a funcionar em regime livre, segundo as normas EN 15251 e ASHRAE Standard 55;

## 1.3. Estrutura da Dissertação

Para um melhor acompanhamento e compreensão, a presente dissertação encontra-se organizada em 7 capítulos:

No Capítulo 1, denominado de Introdução, apresentam-se as motivações que levaram à realização desta dissertação, bem como os objetivos propostos. É também definida a estrutura da dissertação, ou seja, são apresentados os temas abordados por capítulo.

No Capítulo 2, correspondente ao Conforto Térmico, apresentam-se os conceitos teóricos relativos a transferências de calor que estão subjacentes ao comportamento térmico de um edifício. Apresenta-se ainda uma noção de conforto térmico e dos fatores que o condicionam, bem como uma compilação de alguns estudos já realizados no âmbito desta temática.

No Capítulo 3, correspondente à Legislação, apresenta-se um pequeno enquadramento relativamente à evolução da legislação térmica em Portugal, bem como as normas existentes que abordam as metodologias de análise de conforto térmico em espaços interiores habitáveis.

No Capítulo 4, correspondente à Apresentação do Caso de Estudo, apresenta-se, através de uma breve nota histórica a FCT/UNL e o seu Campus. Realiza-se também uma descrição e caracterização geral do edifício de Engenharia Civil.

No Capítulo 5, que corresponde à Metodologia de Estudo, apresenta-se o questionário utilizado para a avaliação do conforto térmico dos utilizadores dos gabinetes do edifício e fez-se uma análise das respostas obtidas. Descrevem-se os modelos de avaliação do conforto térmico utilizados. Por último apresenta-se o programa *EnergyPlus*, que foi utilizado para desenvolver o modelo de simulação e realizar todas as simulações necessárias na presente dissertação.

No Capítulo 6, correspondente à Análise dos Resultados das Simulações, apresentam-se os resultados para o período de aquecimento e arrefecimento obtidos nas várias simulações efetuadas. Fez-se uma análise comparativa entre a solução existente e cada solução de melhoria estudada, bem como as vantagens e desvantagens de cada solução, procurando destacar-se os resultados com maior relevância retirados da realização do trabalho.

No Capítulo 7, correspondente à Conclusão e Desenvolvimentos Futuros, pretende-se evidenciar as soluções que permitem alcançar melhores resultados e as respetivas conclusões. Relativamente aos Desenvolvimentos Futuros, representa-se aspetos interessantes de estudar futuramente de forma a aprofundar este tema.



## 2. Conforto Térmico

O conforto térmico pode ser definido “por uma condição psicológica de satisfação com o ambiente térmico, que tem como base uma avaliação subjetiva definida pela sensação térmica” (2). Assim sendo, é fácil perceber que a avaliação desta temática é de difícil definição, e que não é possível afirmar que existe um método de avaliação que se possa considerar 100% correto. É sempre expectável que na avaliação do conforto térmico, para um determinado ambiente e por parte de um conjunto de indivíduos, exista um ou mais indivíduos que não estejam satisfeitos com as condições, uma vez que esta é uma análise efetuada através de condições fisiológicas quantificáveis e por fatores pessoais subjetivos, sendo assim bastante variável.

### 2.1. Eficiência Energética

Os consumos energéticos em Portugal e na Europa têm vindo a aumentar de forma significativa ao longo das últimas décadas, facto que se deve sobretudo à utilização de energia para a climatização dos edifícios. Uma má construção dos edifícios, que por vezes tem início numa má conceção, tem contribuído para este aumento. Surgiu então a necessidade da criação de normas com medidas eficazes para controlar este crescimento. Neste seguimento, foi criada a diretiva EPBD com objetivo de estabelecer requisitos que promovam a melhoria do desempenho energético em edifícios e que, dessa forma, possam responder aos compromissos assumidos no Protocolo de Quioto, com vista a uma harmonização europeia no que respeita ao cálculo de energia consumida ou a imposições mais severas que influenciam diretamente o conforto térmico.

Em Portugal pode verificar-se que, relativamente ao nível do consumo por setor de atividade, os setores dos transportes e da indústria são os principais consumidores, seguido do setor doméstico e do sector dos serviços, Figura 2.1 (3).

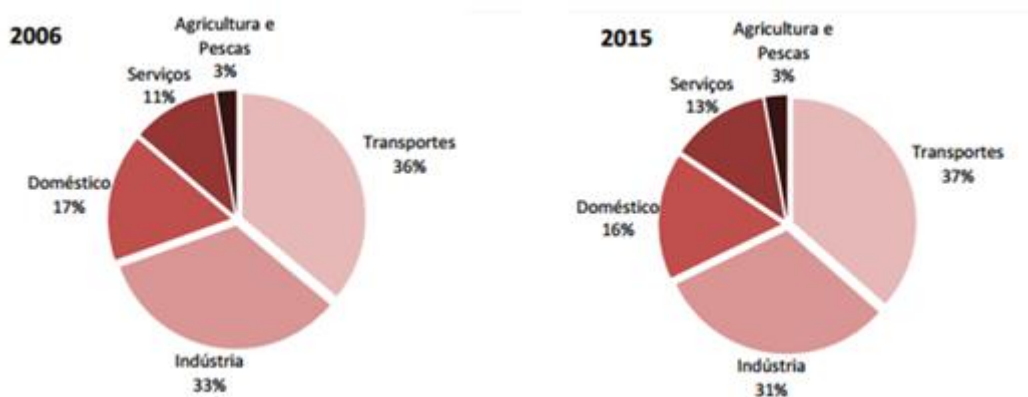


Figura 2.1 - Comparação dos consumos de energia em Portugal por setor de atividade (3)

Nos últimos anos, tem-se assistido a uma tentativa de aumentar a eficiência energética dos edifícios para reduzir o impacto ambiental e os custos energéticos ao longo da vida útil da construção, Figura 2.2. No entanto, apesar da necessidade de redução dos consumos energéticos, esta redução não pode sacrificar o conforto dos ocupantes, ou seja, não é viável ter-se um edifício muito eficiente se depois não satisfaz o conforto dos ocupantes e estes têm que recorrer a medidas para restituir o conforto que acabam por comprometer os gastos energéticos.

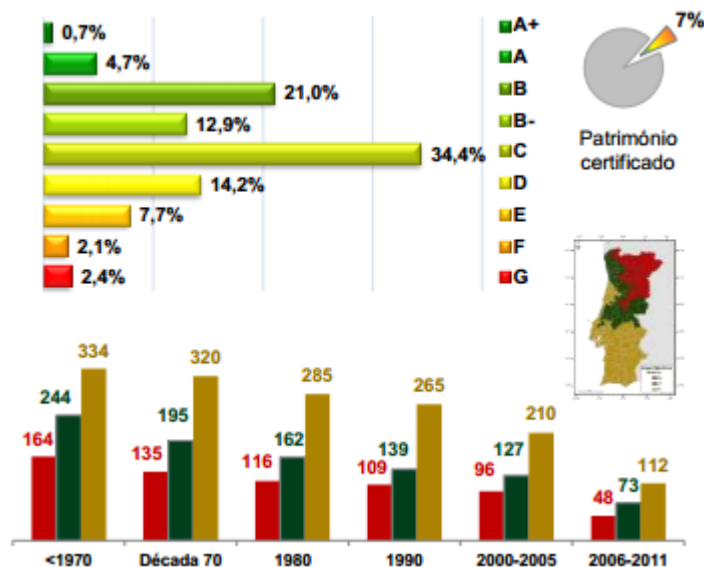


Figura 2.2 – Evolução das necessidades energéticas para aquecimento (kWh/m²) (4)

## 2.2.Noções Básicas do Comportamento Térmico de Edifícios

Para avaliar o comportamento térmico de um edifício, o estudo das diversas formas de transferência de calor é um ponto fundamental que, se não for tido em conta, dará origem a um edifício deficiente relativamente ao seu desempenho térmico, levando ao aparecimento de anomalias, a um desconforto térmico por parte dos utilizadores ou a um gasto energético bastante superior ao desejável.

Contudo, a aplicação direta dos conceitos relacionados com a temática das transferências de calor pode ser muito complexa, devido não só às dimensões e complexidade que alguns edifícios apresentam, mas também devido à geometria e multiplicidade de situações existentes (5).

### 2.2.1. Transferências de calor

As transferências de calor assumem uma importância fundamental na concepção térmica de um edifício. Existem três formas de transferência de calor: condução, convecção e radiação.

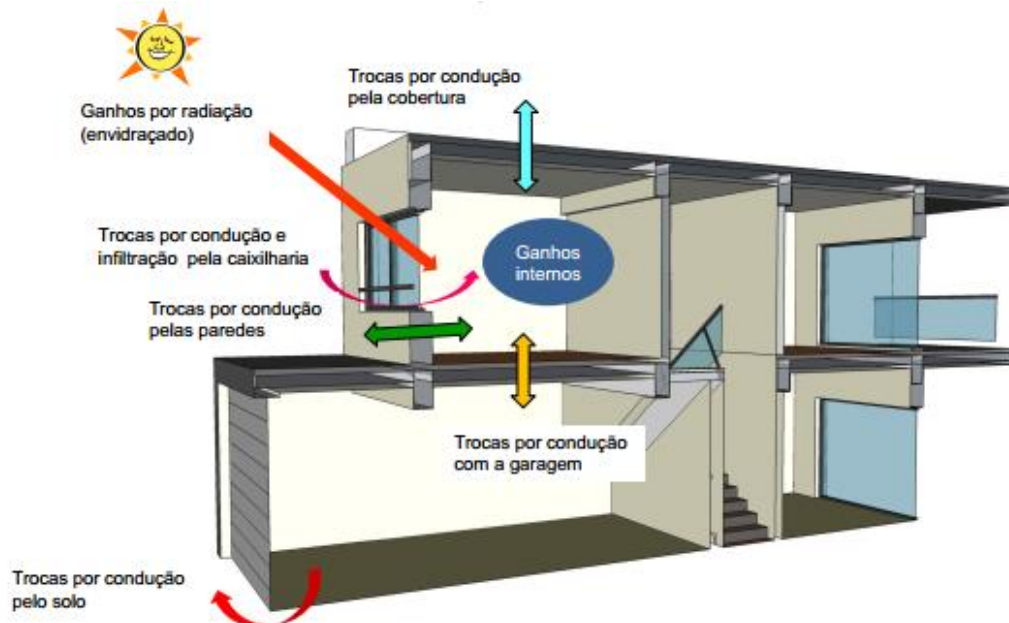


Figura 2.3 –Transferências de calor num edifício (6)

#### 2.2.1.1. Condução

Para existirem transferências de calor por condução é necessário existir contacto físico entre duas zonas com temperaturas diferentes, podendo esse fenómeno ocorrer em corpos sólidos ou fluídos. Este tipo de trocas ocorre quando um ou vários materiais se encontram em contacto e consiste na passagem térmica de energia.

A lei de Fourier define este tipo de troca de calor como o calor transferido por unidade de tempo que é proporcional à área de transferência perpendicular ao fluxo de calor (5).

As transferências de calor entre corpos podem ser quantificadas através da equação (2.1):

$$q = \frac{Q}{A} \quad (2.1)$$

Em que:

q - fluxo de calor [W/m²];

Q - quantidade de calor [W];

A - área perpendicular ao sentido do fluxo através da qual ocorre a transmissão de calor [m²].

O fluxo de calor de numa determinada direção é dado pela equação (2.2):

$$q_i = -\lambda \frac{dT}{di} \quad (2.2)$$

Em que:

$q_i$  - fluxo de calor na direção  $i$  [ $W/m^2$ ];

$\lambda$  - condutibilidade térmica do material [ $W/m \cdot ^\circ C$ ];

$dT$  - diferença de temperaturas [ $^\circ C$ ];

$di$  - diferença de comprimento na direção  $i$  [ $m$ ].

### **2.2.1.2. Convecção**

As transferências de calor por convecção são um mecanismo típico de fluídos e encontram-se associadas ao movimento, ou seja, para existir uma variação da temperatura é necessária uma alteração relativa do posicionamento das moléculas ou variações na massa volúmica.

Existem dois tipos de convecção: a forçada, em que o movimento do ar é provocado por causas externas; e a natural, em que o movimento do ar decorre de causas naturais (diferenças térmicas); estas últimas encontram-se associadas a um ambiente exterior e interior, respetivamente. O ar quente sobe por ter uma massa volúmica inferior à do ar frio, existindo pois uma diferença de temperatura em altura. Caso este fenómeno ocorra numa divisão, existirá uma diferença de temperatura entre o nível do pavimento e o teto. Por vezes estas diferenças podem ser bastante significativas (5).

O fluxo de calor por convecção é obtido pela lei de arrefecimento de Newton:

$$q_c = h_c \times (T_1 - T_2) \quad (2.3)$$

Em que:

$q_c$  - fluxo de calor por convecção [ $W/m^2$ ];

$h_c$  - condutância térmica por convecção [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ];

$T_1$  - temperatura da superfície [ $^\circ C$ ];

$T_2$  - temperatura do ambiente [ $^\circ C$ ].

### **2.2.1.3. Radiação**

As transferências de calor por radiação entre dois corpos são um fenómeno complexo devido às múltiplas reflexões que ocorrem e transmitem-se através de gases ou sólidos semitransparentes onde a absorção é fraca.

Todos os corpos emitem radiação eletromagnética, desde que a sua temperatura seja superior a  $0^\circ K$ , ou seja,  $-273.15^\circ C$  (5).



O fluxo de calor por radiação é obtido através da lei de Stefan-Boltzmann:

$$q_r = \varepsilon \times \sigma \times (T_s^4 - T_{env}^4) \quad (2.4)$$

Em que:

$q_r$  - fluxo de calor por radiação [W/m<sup>2</sup>];

$\varepsilon$  - emissividade da superfície [m<sup>2</sup>];

$\sigma$  - constante de Stefan-Boltzmann [W/m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>];

$T_s$  - temperatura absoluta da superfície emissora [K];

$T_{env}$  - temperatura absoluta da superfície envolvente [K].

### 2.2.2. Coeficiente de Transmissão Térmica

Para quantificar o coeficiente de transmissão térmica das diversas soluções construtivas é necessário avaliar a resistência térmica dos elementos constituintes da solução construtiva, através das seguintes expressões:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (2.5)$$

Em que:

$R$  – resistência térmica de um material [m<sup>2</sup>.°C/W];

$e$  – Espessura de um material [m];

$\lambda$  – Condutibilidade térmica de um material [W/m.°C].

$$R_t = \sum_i R_i \quad (2.6)$$

Em que:

$R_t$  – resistência térmica total;

$R_i$  – resistência térmica do elemento i.

O coeficiente de transmissão térmica é definido pela quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa (7). O seu valor admissível, segundo os regulamentos em vigor, varia com a zona climática, ou seja, depende da zona do país onde o edifício se encontra e do tipo de solução construtiva.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_t + R_{se}} \quad (2.7)$$

Em que:

$U$  - coeficiente de transmissão térmica [W/(m<sup>2</sup>.°C)];

$R_{si}$  e  $R_{se}$  - resistências térmicas superficiais interior e exterior [(m<sup>2</sup>.°C)/W];

$\sum R_t$  – resistência térmica dos constituintes do elemento construtivo [(m<sup>2</sup>.°C)/W].

O coeficiente de transmissão térmica de um vão envidraçado pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} + R_{si} - R_{se} + R_{ar} + \frac{1}{U_{w2}}} \quad (2.8)$$

Em que:

$U_w$  – coeficiente de transmissão térmica da janela dupla [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ];

$U_{w1}$  e  $U_{w2}$  - coeficiente de transmissão térmica de cada uma das janelas simples [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ];

$R_{si}$  e  $R_{se}$  - resistências térmicas superficiais interior e exterior [ $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ];

$R_{ar}$  – resistência térmica do espaço de ar criado entre as duas janelas [ $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ].

## 2.3. Parâmetros que Influenciam o Conforto Térmico

Os parâmetros que influenciam o conforto térmico de um espaço interior habitável dividem-se em três grupos distintos: características físicas, características fisiológicas e fatores externos. A sensação de conforto térmico é um parâmetro subjetivo, uma vez que varia de pessoa para pessoa, pois cada indivíduo apresenta respostas físicas e psicológicas diferentes em relação às variações térmicas (5).

### 2.3.1. Características Físicas

As características físicas englobam a temperatura do ar, a humidade relativa, a temperatura média radiante da envolvente e a velocidade do ar.

A temperatura do ar é influenciada pelas condições ambientais e é uma das variáveis mais importantes. É um parâmetro simples que permite aferir as condições de conforto térmico e é facilmente medida com o auxílio de um termómetro.

A humidade relativa é a capacidade que o ar apresenta para absorver vapor de água relativamente à quantidade máxima que pode ser absorvida a uma dada temperatura. Apresenta uma enorme influência na capacidade de existirem trocas por evaporação entre o ser humano e ambiente através da transpiração.

A velocidade do ar é um parâmetro importante, pois influencia as trocas de calor entre o ser humano e o ambiente por convecção através do mecanismo de evaporação. O aumento da velocidade do ar permite maiores perdas por convecção. Normalmente consideram-se valores perto de 0,1m/s, que correspondem a um local em que o ar sofre muito pouco movimento. Se a velocidade do ar for demasiado elevada, pode originar correntes de ar, provocando desconforto localizado.

### 2.3.2. Características Fisiológicas e Fatores Externos

As características fisiológicas incluem características como a idade, o sexo e as especificidades morfológicas de cada indivíduo. Os fatores externos incluem a atividade e a resistência térmica do vestuário. No corpo humano ocorre um conjunto de reações que mantêm, normalmente, a temperatura interna em valores próximos de 36,5°C. Este fenômeno designa-se por metabolismo, podendo ser traduzido em termos de consumo energético. A Tabela 2.1 apresenta os valores correntemente adotados de taxas de metabolismo em função da atividade praticada.

Tabela 2.1 - Metabolismo humano para diferentes atividades (2)

Atividade	Taxa Metabólica		
	met* (*1 met = 58,2 W/m <sup>2</sup> )	W/m <sup>2</sup>	(Btu/h.ft <sup>2</sup> )
<b>Repouso</b>			
Dormir	0,7	40	(13)
Reclinado	0,8	45	(15)
Sentado	1,0	60	(18)
De pé (sem movimento)	1,2	70	(22)
<b>Marcha</b>			
0,9 m/s (3,2 km/h)	2,0	115	(37)
1,3 m/s (4,8 km/h)	2,6	150	(48)
1,8 m/s (6,4 km/h)	3,8	220	(70)
<b>Atividade em escritório</b>			
Leitura, sentado	1,0	55	(18)
Escrita	1,0	60	(18)
Trabalho em computador	1,1	65	(20)
Arquivar (sentado)	1,2	70	(22)
Arquivar (de pé)	1,4	80	(26)
Andar	1,7	100	(31)
Arrumações	2,1	120	(39)
<b>Conduzir/voar</b>			
Automóvel	1,0 – 2,0	60 – 115	(18 – 37)
Avião, rotina	1,2	70	(22)
Avião, aterragem	1,8	105	(33)
Avião, combate	2,4	140	(44)
Veículo pesado	3,2	185	(59)
<b>Atividades Ocupacionais</b>			
Cozinhar	1,6 – 2,0	95 – 115	(29 – 37)
Limpeza doméstica	2,0 – 3,4	115 – 200	(37 – 63)
Sentado, movimentação dos membros	2,2	130	(41)
Trabalho com máquinas:			
Serrar (serra de mesa)	1,8	105	(33)
Luz (indústria elétrica)	2,0 – 2,4	115 – 140	(37 – 44)
Pesadas	4,0	235	(74)
Manusear malas 50kg (100lb)	4,0	235	(74)
Trabalho agrícola	4,0 – 4,8	235 - 280	(74 – 88)
<b>Atividades de Lazer</b>			
Dança, social	2,4 – 4,4	140 – 255	(44 – 81)
Exercício	3,0 – 4,0	175 – 235	(55 – 74)
Tênis	3,6 – 4,0	210 – 270	(66 – 74)
Basquetebol	5,0 – 7,6	290 – 440	(92 – 140)
<i>Wrestling</i>	7,0 – 8,7	410 - 505	(129 – 160)

### 2.3.3. Desconforto Térmico Localizado

O desconforto térmico localizado é um tema abordado pela norma ASHRAE Standard 55 e pela ISO 7730. Segundo a norma ISO 7730, é possível que uma determinada pessoa se encontre satisfeita termicamente com a temperatura do seu corpo como um todo (análise dos índices PMV e PPD), podendo no entanto existir um desconforto localizado (8). Esta insatisfação, que é analisada através da sensação térmica de desconforto por partes do corpo, pode ser provocada por uma assimetria da temperatura radiante, correntes de ar, diferenças de temperatura do ar na vertical e da temperatura do pavimento. Todos estes tipos de desconforto são avaliados através da percentagem de indivíduos insatisfeitos.

#### 2.3.3.1. Assimetria da Temperatura Radiante

A assimetria da temperatura radiante pode existir devido à presença de superfícies (paredes, vãos envidraçados ou tetos) com temperaturas mais elevadas ou reduzidas do que a temperatura do ar. Esta assimetria pode causar desconforto local e reduzir a aceitabilidade térmica do espaço. Na Figura 2.4 é possível visualizar a variação da percentagem de indivíduos insatisfeitos em função da temperatura radiante de assimetria para paredes e tetos.

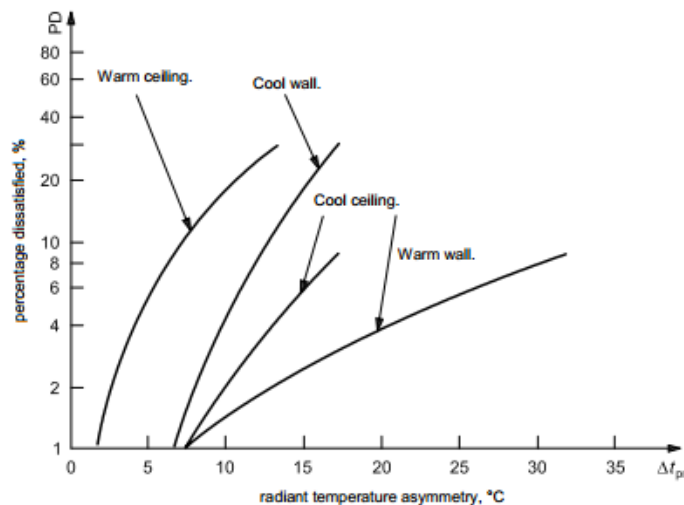


Figura 2.4 - Desconforto térmico local causado pela assimetria da temperatura radiante [adaptado de (8)]

#### 2.3.3.2. Correntes de Ar

As correntes de ar podem provocar um arrefecimento local do corpo que depende da velocidade do ar, da temperatura do ar, da intensidade da turbulência, da atividade e do vestuário. Este arrefecimento é maior onde o vestuário não cobre a pele, por exemplo, no pescoço, nas pernas e nos braços. Este efeito calcula-se através da equação (2.9).

$$DR = (34 - T_a) \times (v_{ar} - 0,05)^{0,62} \times (0,37 \times v_{ar} \times T_u + 3,14) \quad (2.9)$$

Em que:

DR – taxa de corrente de ar [%];

$T_a$  – temperatura do ar [°C];

$v_{ar}$  – velocidade relativa do ar [m/s];

$T_u$  – Intensidade da turbulência [%].

### 2.3.3.3. Diferenças de Temperatura do Ar na Vertical

As diferenças de temperatura do ar na vertical resultam da existência de uma diferença de temperatura ao nível da cabeça comparativamente à temperatura ao nível dos tornozelos. É possível determinar a percentagem de indivíduos desconfortáveis através da Figura 2.5, que apresenta a variação da percentagem de indivíduos insatisfeitos em função da diferença da temperatura do ar.

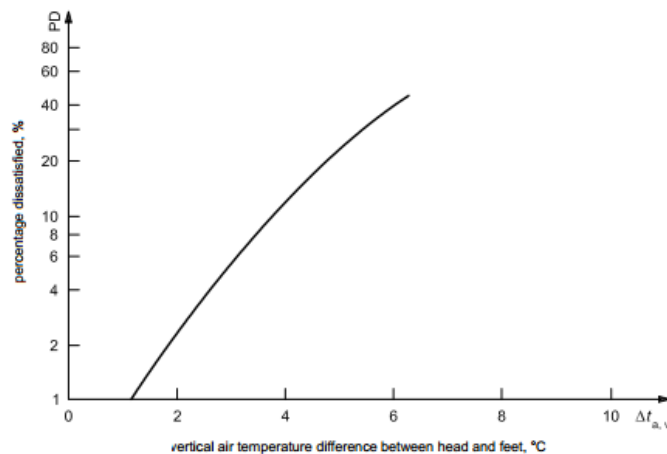


Figura 2.5 – Desconforto local causado pela diferença de temperatura do ar na vertical (8)

### 2.3.3.4. Temperatura do Pavimento

Quando a temperatura do pavimento se encontra demasiado quente ou demasiado fria, os ocupantes podem sentir desconforto, que pode ser mais ou menos elevado dependendo do tipo de calçado que utilizam. É possível determinar a percentagens de indivíduos insatisfeitos através da Figura 2.6, que apresenta a variação da percentagem de insatisfeitos em função da temperatura do pavimento, para utilizadores que utilizam sapatos.

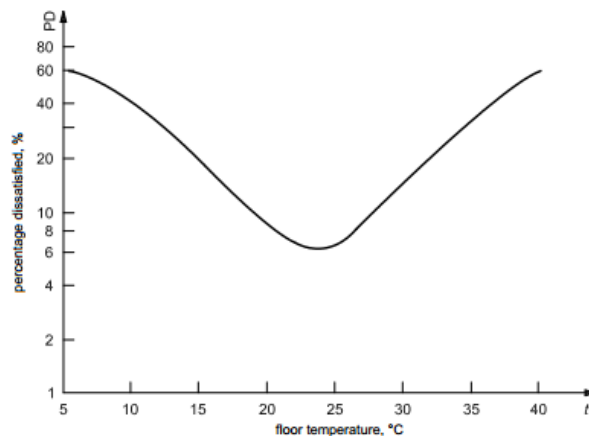


Figura 2.6 - Desconforto local causado pela temperatura do pavimento (8)

## 2.4. Estado do Conhecimento

Nos últimos anos houve uma crescente preocupação com a temática do conforto térmico nos ambientes interiores dos edifícios o que faz com que o estudo deste problema ganhe uma enorme relevância. Esta preocupação do homem com as questões de conforto térmico não é recente, pois ao longo dos anos foram realizados diversos estudos nesta área, com o objetivo de estudar a avaliação e as condicionantes deste parâmetro.

Um dos primeiros estudos realizados nesta área remonta a 1845, História e Arte de Aquecimento e Ventilação em Quartos e Edifícios de Walter Bernan, onde o autor previu que no futuro seriam criados ambientes climáticos artificiais que ajudariam a preservar a saúde do ser humano e que esta temática iria assumir a dimensão de uma ciência.

Entre 1913 e 1923 iniciaram-se os primeiros esforços para estabelecer critérios de conforto térmico e, após uma década de investigação desenvolvida por Houghten e Yaglou, surgiu o primeiro índice de conforto térmico, apresentado pela *ASHVE*. Este estudo foi desenvolvido num laboratório com duas câmaras climatizadas interligadas por uma porta onde numa das câmaras a humidade relativa era mantida a 100% e se fixava um valor de temperatura na outra câmara. Os utilizadores estavam despidos até à cintura, circulavam entre câmaras e avaliavam qual delas estava mais quente. Surgiu assim o índice que temperatura efetiva (ET), que considerava a temperatura, velocidade do ar e a humidade como parâmetros que caracterizavam o ambiente interno, Figura 2.7 (9,10).

Em 1924 Yaglou e Houghten, introduziram ao estudo anterior a influência da velocidade do ar e em 1925, Yaglou e Miller introduziram a influência dos diferentes tipos de vestuário utilizados nas diferentes épocas do ano, os resultados obtidos foram considerados válidos para o período de aquecimento, Figura 2.7. Em 1929, Yaglou e Miller, estudaram o efeito do clima de verão no intervalo de conforto. O intervalo de conforto foi obtido através das temperaturas votadas como confortáveis e não as que satisfaziam 50% das pessoas (11).

Mais tarde, em 1932, Vernon e Warner, propõem uma correção do índice de temperatura efetiva que tenha em consideração o efeito da radiação térmica das superfícies envolventes, a temperatura efetiva é obtida através da temperatura de um termómetro de globo negro, onde o sensor de temperatura está envolvido numa esfera metálica pintada de negro, e que considera os efeitos da energia radiante, temperatura e velocidade do ar. Deste estudo resulta o índice de conforto térmico designado por temperatura efetiva corrigida (CET) (10).

Em 1947, tanto Yaglou como Rowley, Jordan e Snyder concluíram que a escala de temperatura efetiva utilizada subestimava o efeito da humidade nas altas temperaturas e sobrestimava o efeito da humidade nas baixas temperaturas (9).

Em 1950, a ASHRAE, projeta e constrói instalações de pesquisa ambiental do conforto térmico em Cleveland (EUA), onde se inicia um programa de pesquisa para reavaliar os ábacos de conforto existentes.

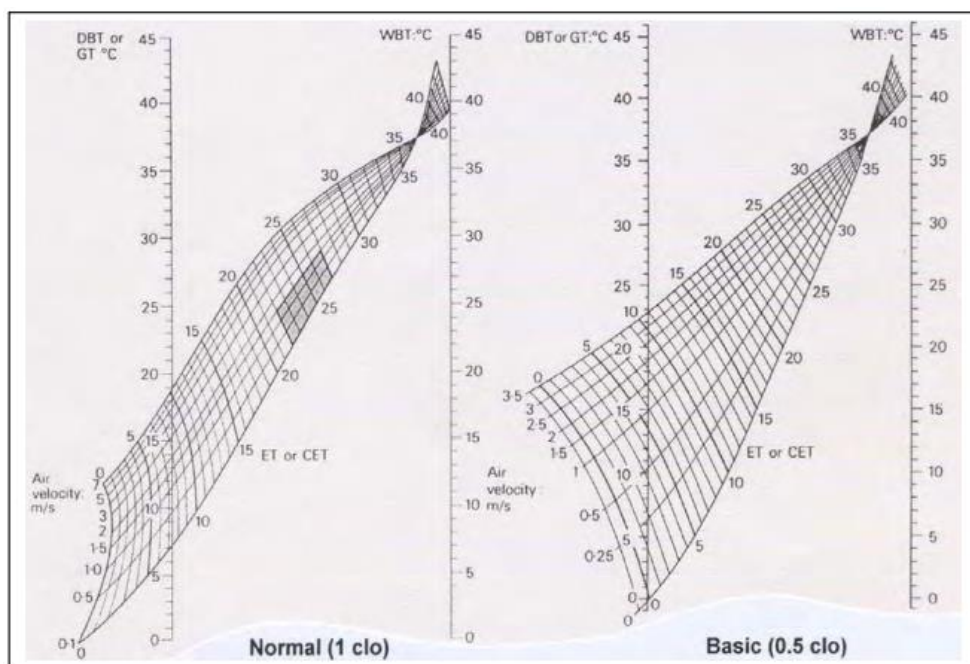


Figura 2.7 – Nomogramas da temperatura efetiva corrigida para pessoas vestidas normalmente e despidas da cintura para cima (12)

Em 1960, Koch, Jennings e Humphreys demonstraram que o efeito da humidade na sensação de conforto térmico era pequeno, para humidades entre 20% e 90% e de temperaturas de bolbo seco entre 20°C e 34 °C. Estes resultados foram comparados com os de Yaglou de 1923 e demonstraram similaridades na sensação térmica após três horas de exposição.

Em 1963, o centro de pesquisa da ASHRAE foi transferido de Cleveland para a Universidade Estadual de Kansas, e em 1966, foi publicado um trabalho muito relevante de Rohles et al., onde participaram 360 homens e 360 mulheres dos 18 aos 23 anos, divididos em grupos de dez pessoas. Foram feitas várias combinações e testadas setenta e duas condições. A temperatura variou entre 18,9 °C e 27,8 °C, a umidade relativa variou entre 15% e 85%, e o vestuário tinha uma resistência térmica de 0,52 clo. Os resultados desta pesquisa confirmaram os estudos de 1960 de Koch, Jennings e Humphreys.

Os estudos desenvolvidos até aqui para aferir a sensação de conforto térmico eram baseados na variação da temperatura e umidade do ar. Todos os outros fatores (temperatura radiante média, velocidade do ar, vestuário e atividade física) eram mantidos constantes o que restringia a aplicação prática dos resultados, pois só eram válidos para as combinações de condições estudadas.

Em 1967, McNall realizou um estudo semelhante ao de Rohles et al., com 420 participantes de ambos os sexos, mas com três tipos de atividades: leve, média e pesada.

Em 1968, Fanger repetiu a experiência de 1966 de Rohles na Universidade da Dinamarca, com o objetivo de verificar a influência da nacionalidade e da idade no conforto térmico. Nesta experiência participaram 256 pessoas, sendo que 128 pessoas tinham uma média de idades entre os 23 e os 68 anos. Este estudo demonstrou similaridade de conforto térmico entre os indivíduos americanos e dinamarqueses.

Em 1970, Fanger desenvolveu diversos estudos que culminaram com a definição do modelo PMV-PPD, que tem como base a realização de questionários aos indivíduos utilizadores dos espaços em estudo, utilizando uma escala de conforto térmico (13). Fanger desenvolveu a equação do balanço térmico, que faz corresponder o equilíbrio térmico ao valor nulo da taxa de calor acumulada no corpo. Devido à complexidade destes cálculos, foi criado um conjunto de diagramas para determinadas combinações das variáveis ambientais e pessoais (10).

Os estudos desenvolvidos por Fanger foram realizados em câmaras climáticas (condições ambientais controladas), onde se consideraram parâmetros ambientais e individuais, Figura 2.8. Os parâmetros ambientais englobam a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a umidade relativa e a velocidade do ar, enquanto os individuais incluem a taxa de metabolismo e a resistência térmica do vestuário (14). Estes parâmetros determinam que um indivíduo está confortável com o ambiente que o rodeia, se estiver em neutralidade térmica, ou seja, se não prefere adicionar mais calor nem mais frio ao ambiente em que se insere, e não sente desconforto térmico localizado (sensação de piso frio, diferenças de temperatura na vertical, correntes de ar ou assimetria da temperatura radiante).





Figura 2.8 - Indivíduos na câmara de teste ambiental na Universidade Técnica da Dinamarca (14)

O PPD é calculado com base nos valores previamente determinados para o índice PMV e permite conhecer a percentagem de pessoas insatisfeitas com a ambiente a que se encontram expostas. Esta relação é feita de acordo com a equação (2.10) e pode também ser visualizada na Figura 2.9.

$$PPD = 100 - 95 \times e^{(-0.03353 \times PMV^4 + 0.2179 \times PMV^2)} \quad (2.10)$$

Em que:

PMV – predicted mean vote (voto médio estimado);

PPD – predicted percent of dissatisfied people (percentagem estimada de pessoas desconfortáveis).

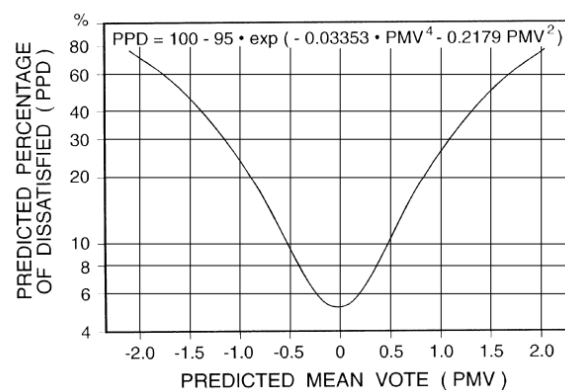


Figura 2.9 – Índice de PPD em função do PMV (2)

Em 1980, McIntyre aponta o problema relacionado com a humidade dos estudos anteriores, que consistia na passagem para a sala mais húmida, onde o vestuário adsorve a humidade provocando um efeito de aquecimento, e na passagem para a sala menos húmida, onde a humidade da pele e do vestuário evapora causando uma sensação de arrefecimento.

Considerando que os utilizadores de um edifício tendem a adaptar as condições térmicas, pois estas encontram-se relacionadas com a expectativa das condições térmicas interiores e com a capacidade de as fazer variar, e que a sensação térmica não depende só de parâmetros fisiológicos, mas também de fatores psicológicos. Foram desenvolvidos três estudos relevantes: Humphreys (1975) (15), Auliciems (1981) e De Dear (1998), onde se explora uma metodologia adaptativa e onde o utilizador deixa de ser considerado um agente passivo e passa a controlar o ambiente térmico através da alteração do vestuário, atividade física, abertura ou fecho dos vãos envidraçados ou ligação de equipamentos de climatização.

Em 1996, Baker considera que a possibilidade de adaptação ao ambiente interno pode ser uma mais valia e identificou um conjunto de erros adaptativos associados aos métodos convencionais de avaliar o conforto térmico. Realizou um estudo em regime de funcionamento livre, onde testou duas situações: a base e a adaptativa, Tabela 2.2. Quando não existe possibilidade de adaptação à variação da temperatura interior face à zona neutra, surge uma sensação de desconforto térmico, Figura 2.10 (16).

Tabela 2.2 – Efeito dos erros adaptativos (16)

	Base	Adaptativo
Temperatura do quarto, ar (°C)	30,5	29,5
Temperatura do quarto, radiante (°C)	30,5	29,5
Temperatura local, ar (°C)	30,5	28,0
Temperatura local, radiante (°C)	30,5	28,0
Velocidade do ar (m/s)	0,1	0,2
Vestuário (clo)	0,5	0,4
Actividade (met)	1,2	1,1
PPD (%)	68,4	17,5

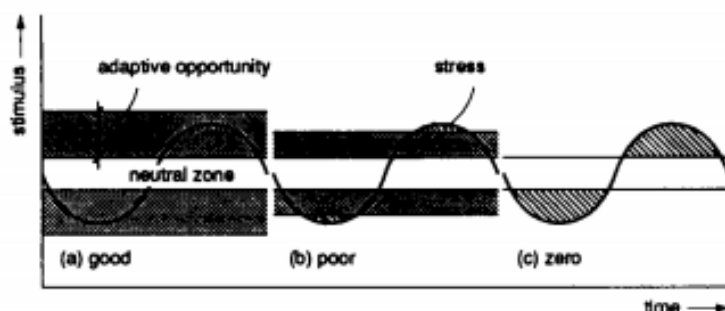


Figura 2.10 – Extensão da zona de conforto em torno da zona neutra (16)

Em 2007, foi desenvolvido um estudo que relacionou o nível de isolamento térmico da envolvente com o potencial de sobreaquecimento no período do verão em Portugal e em climas do sul europeu. Este estudo permitiu o desenvolvimento de um modelo teórico que determina se a temperatura interior aumenta ou diminui com o aumento do isolamento térmico. Concluiu-se que o aumento da espessura do isolamento térmico se traduz em melhorias evidentes nas condições de conforto térmico no período de aquecimento (Inverno). No entanto, no período de arrefecimento (Verão), para evitar sobreaquecimento, é necessário um controlo rigoroso dos ganhos solares e dos ganhos internos (17).

Relativamente aos métodos utilizados para estudar o conforto térmico, em 2010, foi realizado um estudo sobre conforto térmico em edifícios através de abordagem analítica e adaptativa, aplicado num edifício residencial e em regime de funcionamento livre. O estudo foi realizado para as três zonas climáticas de Inverno em que se estudaram diferentes soluções para cada zona. Concluiu-se que para o período de arrefecimento o método analítico é mais gravoso enquanto para o período de aquecimento os diferentes métodos apresentam valores semelhantes (10).

Em 2013, foi realizado um estudo sobre a influência do conforto térmico na produtividade. Este estudo foi desenvolvido numa empresa de fabrico e montagem de componentes de automóveis. Os ocupantes do espaço foram inquiridos com o objetivo de caracterizar a sensação térmica dos mesmos ao longo dos dias de observações e a sua perceção relativamente à produtividade. Este estudo concluiu que o desconforto térmico influencia negativamente a produtividade e a temperatura é diretamente proporcional à produtividade (18).

Um outro estudo, realizado em 2014, procedeu à avaliação do conforto térmico em salas de aula e salas de bibliotecas em escolas no centro urbano de Viseu. Para a realização deste estudo foram também desenvolvidos questionários com o objetivo de saber a opinião dos ocupantes do espaço em estudo (19).

Um dos estudos mais relevantes desenvolvidos em Portugal nesta área, realizou-se no LNEC em 2010, e permitiu desenvolver uma metodologia para avaliar as condições de conforto térmico. O estudo foi realizado através de campanhas experimentais em edifícios de serviço e residenciais e permitiu concluir que as temperaturas de conforto regulamentares (20 e 25°C) não são representativas dos limites de conforto térmico estimados com base na perceção dos utilizadores e condições do ambiente exterior. Foi então criado um modelo adaptativo que relaciona a temperatura operativa com a temperatura exterior. O estudo concluiu que existem situações em que as soluções construtivas são desadequadas e a climatização do edifício é imprescindível, mas em Portugal, desde que sejam utilizadas soluções e medidas passivas adequadas, é possível admitir níveis de conforto térmico aceitáveis sem recorrer a sistemas de climatização (20).



## 3. Legislação

### 3.1. Evolução da Legislação em Portugal

Anteriormente à implementação da primeira ferramenta legal em Portugal relativa ao conforto térmico, não existiam preocupações com esta temática. Este facto fez com que algumas construções apresentem várias patologias e graves falhas no que respeita ao conforto térmico requerendo grandes necessidades energéticas.

A primeira ferramenta legal implementada em Portugal relativamente à imposição de condições que garantam o conforto térmico foi o RCCTE, aprovado pelo Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de fevereiro de 1990. Este regulamento visa salvaguardar as exigências de conforto térmico no interior do edifício, sem que seja necessário recorrer a um gasto energético excessivo (21).

Atualmente, três décadas após a implementação da sua primeira versão, o RCCTE já não se encontra em vigor, mas pode afirmar-se que constitui uma referência fundamental nesta temática e que permitiu uma melhoria significativa das condições de conforto térmico na maioria dos edifícios.

Em 1998, entrou em vigor o RSECE, que estabelece regras que visam garantir as exigências de conforto térmico dos edifícios, assegurando o respeito pelo meio ambiente e a eficiência energética das construções. O *“regulamento incide sobre a dimensão e a qualidade dos sistemas de climatização”* e acrescenta exigências superiores relativamente à qualidade térmica da envolvente exterior regulamentada pelo RCCTE (22).

Em 2002, a Diretiva 2002/91/CE, conhecida como EPBD, relativa ao desempenho energético dos edifícios, veio impor requisitos mínimos para o desempenho energético de novos edifícios e para reabilitações de maior dimensão. Introduziu também a certificação energética de edifícios. Esta diretiva impôs aos Estados membros a revisão periódica de regulamentos com o objetivo de reduzir os consumos energéticos de edifícios novos ou reabilitados (23).

A melhoria do nível de vida das populações e o maior grau de exigência em termos de conforto, levou a uma grande procura de sistemas que climatizassem. Este facto teve como resultado *“a mais elevada taxa de crescimento dos consumos de energia de entre todos os sectores da economia nacional, nomeadamente para o subsector dos serviços, traduzida em valores médios da ordem dos 12 % por ano”* (7). Surgiu assim a necessidade de uma regulamentação mais eficiente dos sistemas de climatização.

Em 2006, surge o SCE e revisões do RCCTE e do RSECE, que são uma transposição da EPBD. Estas três regulamentações vêm acrescentar novos requisitos de conforto térmico relacionados com a qualidade de ar interior, renovação de ar, sistemas de ar condicionado,

limites de consumo de energia máximos nos grandes edifícios e com o consumo de energia para arrefecimento, aquecimento e águas quentes sanitárias (24).

Em 2010, é realizada uma revisão à EPBD, em que são impostos requisitos mínimos de desempenho energético para os edifícios e frações autónomas novas ou intervencionadas, estendendo-se aos elementos construtivos reabilitados ou substituídos. Define-se ainda uma meta para que todos os novos edifícios públicos se tornem edifícios com necessidades energéticas quase nulas, nZEB, até 31 de dezembro de 2018. Relativamente aos edifícios novos, estes têm um prazo até 31 de dezembro de 2020 para se tornarem edifícios com necessidades energéticas quase nulas, nZEB (24).

Em 2013, com a implementação do Decreto-Lei 118/2013, o SCE é revisto e são publicados o REH e o RECS, que surgem da necessidade de acompanhar a revisão da EPBD, revogando assim os SCE, RSECE e RCCTE de 2006 (25). Os três novos regulamentos definem novas metas relacionadas com a EPBD, nomeadamente no que respeita aos edifícios passarem a ser nZEB e os edifícios a reabilitar apresentarem requisitos mais exigentes. Esta atualização introduziu inúmeras vantagens: em primeiro lugar, reúne os três documentos regulamentares num só, o que facilita a sua utilização; por outro lado, efetua uma separação entre edifícios de habitação e edifícios comerciais, o que facilita o tratamento e a gestão dos processos, e reconhece as especificidades técnicas de cada tipo de edifício.

Mais tarde, foram efetuados melhoramentos e correções ao Decreto-Lei 118/2013, através de portarias e despachos, que tiveram como objetivo corrigir ou colmatar algumas inexactidões existentes nos documentos.

Na Tabela 3.1, é possível observar um resumo das legislações existentes bem como as respetivas alterações, desde o primeiro RCCTE até aos dias de hoje.

Tabela 3.1- Evolução legislativa em Portugal

Ano	Legislação	Revogado ou alterado por:
1990	<del>Decreto-Lei 40/90 (RCCTE)</del>	Decreto-Lei 80/2006 (RCCTE)
1998	<del>Decreto-Lei 118/98 (RSECE)</del>	Decreto-Lei 79/2006 (RSECE)
2002	Diretiva 2002/91/CE (EPBD)	Diretiva 2010/31/UE (EPBD)
2006	<del>Decreto-Lei 78/2006 (SCE)</del> <del>Decreto-Lei 79/2006 (RSECE)</del> <del>Decreto-Lei 80/2006 (RCCTE)</del>	Decreto-Lei 118/2013
2010	Diretiva 2010/31/UE (EPBD)	
2013	Decreto-Lei 118/2013 (SCE, REH, RECS)	Decreto-Lei n.º 68-A/2015 (1ª alteração) Decreto-Lei n.º 194/2015 (2ª alteração) Decreto-Lei n.º 251/2015 (3ª alteração) Decreto-Lei n.º 28/2016 (4ª alteração)

	Portaria n.º 349-A/2013	Portaria n.º 115/2015 (1º alteração) Portaria n.º 39/2016 (2º alteração)
	Portaria n.º 349-B/2013	Portaria n.º 379-A/2015 (1º alteração) Portaria n.º 319/2016 (2º alteração)
	Portaria n.º 349-C/2013	Declaração de Retificação nº4/2014 Portaria n.º 405/2015 (1º alteração)
	<b><u>Portaria n.º 349-D/2013</u></b>	Declaração de Retificação nº3/2014 Portaria n.º 17-A/2016
	Portaria n.º 353-A/2013	Declaração de Retificação nº2/2014
	Despacho (extrato) n.º 15793-C/2013	Portaria n.º 405/2015
	Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013	Declaração de Retificação nº129/2014
	Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013	
	Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013	Declaração de Retificação nº130/2014
	Despacho (extrato) n.º 15793-G/2013	
	Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013	Declaração de Retificação nº128/2014 Despacho n.º 3777/2017
	Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013	
	Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013	Declaração de Retificação nº127/2014
	Despacho (extrato) n.º 15793-L/2013	
<b>2014</b>	Declaração de Retificação n.º2/2014	
	Declaração de Retificação n.º3/2014	
	Declaração de Retificação n.º4/2014	
	Declaração de Retificação n.º127/2014	
	Declaração de Retificação n.º128/2014	
	Declaração de Retificação n.º129/2014	
	Declaração de Retificação n.º130/2014	
<b>2015</b>	Portaria n.º 66/2014	
	Portaria n.º 115/2015	
	Decreto-Lei nº 68-A/2015	
	Despacho nº 7113/2015	Declaração de Retificação nº 769/2015
	Declaração de Retificação nº 769/2015	
	Decreto-Lei n.º 194/2015	
	Portaria n.º 379-A/2015	
	Portaria n.º 405/2015	
<b>2016</b>	Decreto-Lei n.º 251/2015	
	Despacho n.º 14985/2015	
	Decreto Legislativo Regional n.º 1/2016/M	
	Decreto Legislativo Regional n.º 4/2016/A	
	Portaria n.º 17-A/2016	
	Despacho n.º 3156/2016	
	Portaria n.º 39/2016	
	Despacho (extrato) n.º 6469/2016	
<b>2017</b>	Despacho (extrato) n.º 6470/2016	
	Decreto-Lei n.º 28/2016	
	Portaria n.º 319/2016	

## **3.2. Normalização do Conforto Térmico**

### **3.2.1. ASHRAE Standard 55**

A ASHRE Standard 55 encontra-se de acordo com as normas ISO 7726 e ISO 7730. Esta norma tem como objetivo especificar os principais fatores de um espaço interior que conduzem a condições de conforto térmico aceitáveis para a maioria dos ocupantes.

Segundo a ASHRE Standard 55, o conforto térmico define-se “por uma condição psicológica que expressa a satisfação com o ambiente térmico e tem como base uma avaliação subjetiva” (2). Segundo esta norma o conforto térmico encontra-se dependente de vários fatores, que podem ser primários ou secundários, dependentes do ambiente ou de fatores pessoais, sendo que os fatores dependentes do ambiente são a temperatura, a radiação térmica, a humidade e a velocidade do ar, e os fatores pessoais são o tipo de atividade e o tipo de roupa. Relativamente aos fatores primários e secundários que determinam o conforto térmico, são considerados como fatores primários o metabolismo, a resistência térmica do vestuário, a temperatura do ar, a temperatura radiante, a velocidade do ar e a humidade.

Esta norma define três metodologias de cálculo diferentes para avaliar as condições de conforto térmico de um espaço interior habitável, sendo possível realizar uma abordagem analítica ou adaptativa.

O primeiro método utilizado tem por base um diagrama psicométrico, que fornece uma zona de conforto térmico dividida em duas zonas, uma para cada estação (aquecimento e arrefecimento). O diagrama representado na Figura 3.1 relaciona 3 parâmetros: a humidade, a temperatura operativa e a temperatura de bolbo molhado. Este diagrama é válido sempre que a atividade dos ocupantes se encontre entre 1,0 e 1,3 met e a resistência térmica do vestuário entre 0,5 e 1,0 clo.

Nesta norma é também realizada uma abordagem ao grau de desconforto localizado. Este ponto é importante, uma vez que é possível que uma determinada pessoa se encontre satisfeita termicamente com a temperatura do seu corpo de uma forma generalizada (análise dos índices PMV e PPD), mas existir uma insatisfação localizada, que analisa a sensação térmica de desconforto por partes do corpo.



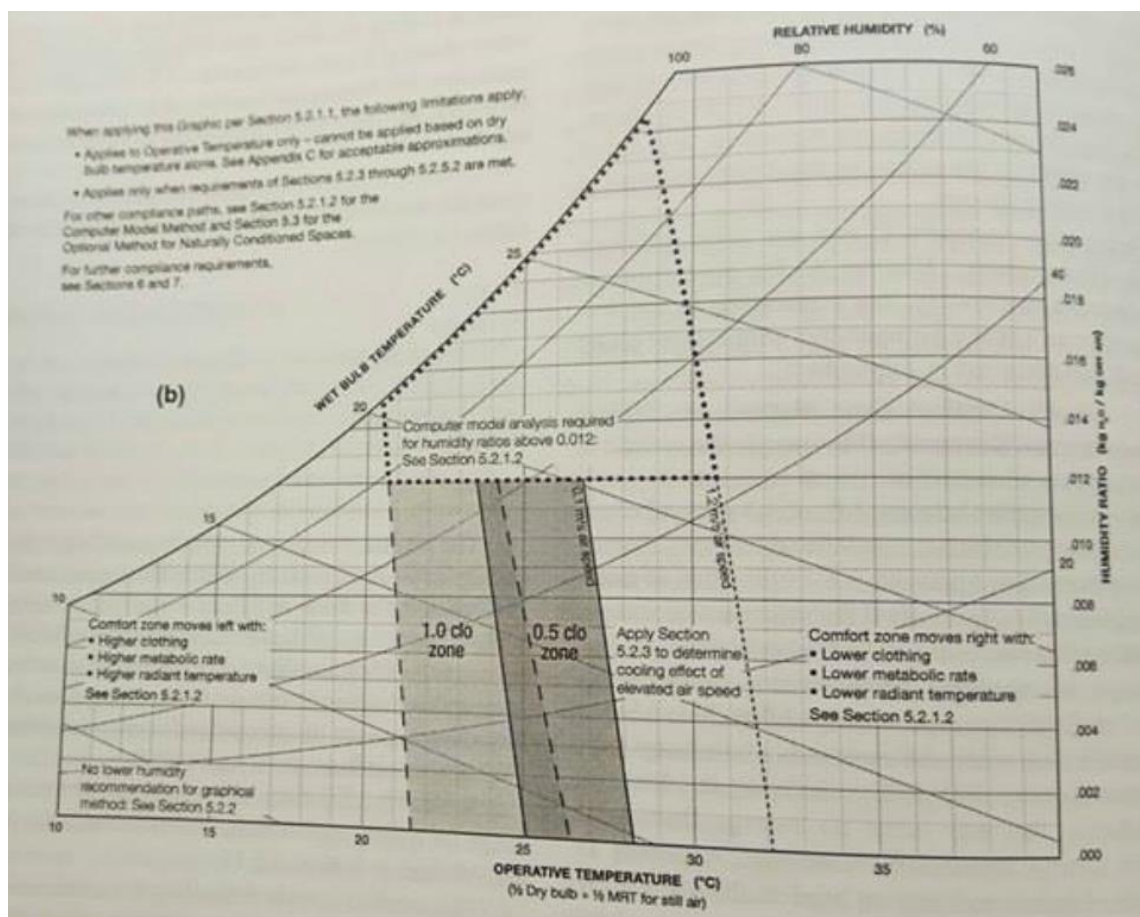


Figura 3.1 - Faixa aceitável de conforto térmico (2)

### 3.2.2. ISO 7730

A norma ISO 7730, tal como a ASHRE Standard 55, utiliza um método analítico para proceder à avaliação de condições de conforto térmico de um espaço interior habitável. O método de PMV e PPD proposto por Fanger permite determinar o grau de desconforto térmico de pessoas expostas a ambientes moderados e especifica as condições térmicas para aferir o grau de conforto térmico global.

Esta norma define conforto térmico como “uma condição psicológica na qual é expressa a satisfação com o ambiente térmico” (8). Nesta norma é efetuada uma abordagem ao grau de desconforto localizado e é realizada uma divisão dos edifícios por três categorias de ambientes térmicos aceitáveis, estabelecendo-se assim um intervalo de valores admissíveis para cada tipo de categoria de desconforto. As três categorias em que são divididos os edifícios variam de A a C, sendo que a categoria A corresponde a espaços ocupados por pessoas com necessidades especiais, a categoria B corresponde a edifícios novos ou sujeitos a ações de reabilitação e a categoria C corresponde a edifícios existentes. Na Tabela 3.2 pode observar-se os limites de desconforto térmico por categorias e em função dos parâmetros de desconforto.

Tabela 3.2 – Limites de desconforto para as categorias de ambiente térmico (8)

Categoria	Estado térmico global do corpo como um todo			Desconforto Local		
	PPD [%]	PMV	Corrente de ar DR [%]	Diferenças de temperatura na vertical PD [%]	Temperatura do pavimento PD [%]	Assimetria da temperatura radiante PD [%]
<b>A</b>	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$	< 10	< 3	< 10	< 5
<b>B</b>	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
<b>C</b>	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$	<30	< 10	< 15	< 10

### 3.2.3. EN 15251

A norma EN 15251 engloba os dois tipos de análise, uma análise analítica e outra adaptativa. A abordagem analítica é em tudo semelhante à realizada pelas duas anteriores e, portanto, utiliza o método de PMV e PPD para avaliar as condições de conforto térmico de um espaço interior habitável e os critérios e parâmetros definidos pela ISO 7730, Tabela 3.3. A norma EN 15251 pode ser aplicada a edifícios com sistemas de aquecimento ou arrefecimento e divide os edifícios em quatro categorias de I a IV, em que as três primeiras categorias correspondem às categorias A, B e C, respetivamente, da norma ISO 7730.

A segunda abordagem é uma análise adaptativa muito semelhante à que segue a norma ASHRAE Standard 55. Este método é válido para espaços que não tenham sistemas de aquecimento ou arrefecimento ativos, e quando a atividade dos ocupantes se encontre entre 1,0 e 1,3 met. Pode ser utilizado se existir ventilação com ar não condicionado no verão, sendo que a ventilação natural através da abertura de janelas é sempre preferencial.

Tabela 3.3 - Valores de PMV e PPD de acordo com as categorias de edifícios (26)

Categoria	PPD (%)	PMV
<b>I</b>	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$
<b>II</b>	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$
<b>III</b>	< 15	$0,7 < PMV < +0,7$
<b>IV</b>	> 15	$PMV < -0,7$ ou $+0,7 < PMV$

## 4. Apresentação do Caso de Estudo

### 4.1. Nota Histórica e Evolução do Campus da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Em 1977, o Ministro da Educação procedeu à divisão da Universidade Nova de Lisboa em quatro faculdades: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Faculdade de Economia e Faculdade de Ciências Médicas (27).

Anteriormente a esta divisão, a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa encontrava-se situada no Seminário dos Olivais. O ano letivo de 1977/78 marcou o início das licenciaturas de Engenharia de Produção Industrial, Engenharia do Ambiente, Matemática, Química Aplicada, Engenharia Geológica, Engenharia Física e dos Materiais e Engenharia Informática (27).

A 20 de março de 1980, o Campus da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa foi inaugurado na Quinta da Torre, na freguesia de Almada, concelho de Setúbal, Figura 4.1. Ao longo dos anos este campus foi alvo de diversas intervenções, como a construção de novos edifícios.

Inicialmente, o terreno do Campus encontrava-se delimitado por 17 hectares, sendo as suas construções constituídas por um edifício e três hangares (28). No ano de 1991, o Campus passou a ter 43 hectares, devido à obtenção de terrenos contíguos à Quinta da Torre por parte da UNL, por expropriação dos donos, dando-se início à construção de vários edifícios e espaços contíguos, Figura 4.2.

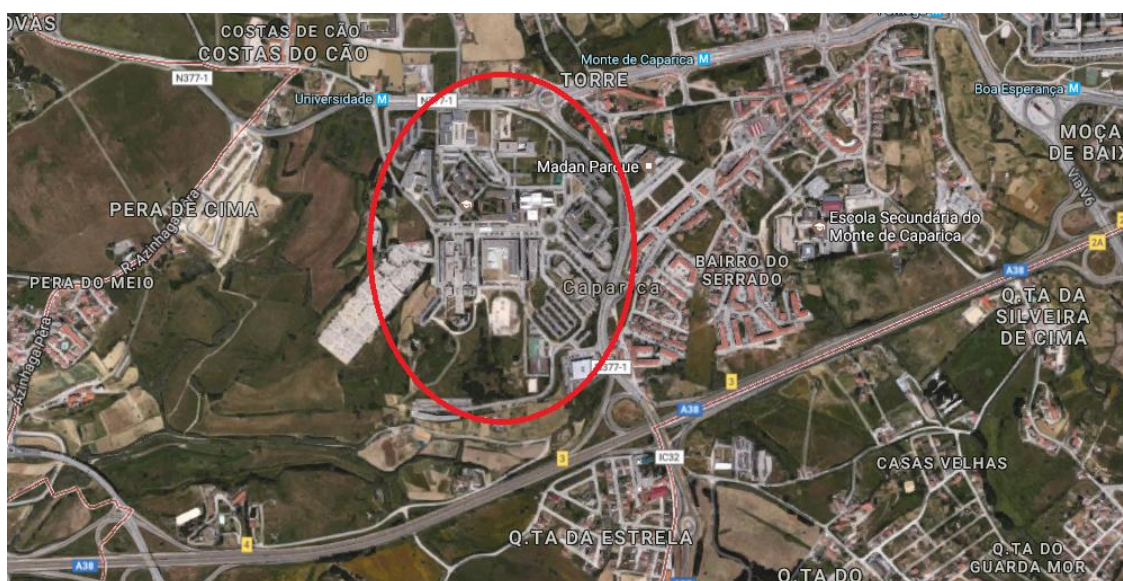


Figura 4.1 - Localização do Campus da FCT/UNL [adaptado de (29)]



Em 1999, foram concluídos os edifícios de Engenharia Civil e de Ciências da Terra e, por fim, no século XXI, o edifício X e a Biblioteca, Figura 4.3.



Figura 4.2 - Campus da FCT/UNL em 1991 (28)



Figura 4.3 - Campus da FCT/UNL em 2017 (30)

Pode observar-se na Tabela 4.1 a data de construção dos diversos edifícios que atualmente compõem o Campus da FCT/UNL, verificando que existe uma grande diferença temporal entre a construção dos primeiros e dos últimos edifícios. Dada esta diferença, o Campus é constituído por edifícios com diferentes soluções construtivas e por isso com um conforto térmico bastante díspar.

Tabela 4.1- Data de construção dos edifícios do Campus da FCT/UNL (28)

Edifícios	Ano de conclusão
Edifício I	1980
Hangares	1982
Edifício II	1983
Edifício III	1984
Edifício IV	1984
Grande Auditório (V)	1987
Cantina	1988
Edifício VI	1989
UniNova	1991
CeniMAT	1993
Centro de Excelência do Ambiente (CEA)	1994
Edifício Departamental	1993 (1ª fase)
	1996 (2ª fase)
	1997 (3ª fase)
CITI (Programa Ciência)	1994
Edifício VII	1998
Edifício VIII	1999
<b>Edifício IX</b>	<b>1999</b>
Edifício X	2000
Biblioteca Geral	2005

## 4.2. Identificação e Caracterização do Caso de Estudo

### 4.2.1. Generalidades

De acordo com a página da FCT na internet, esta encontra-se dividida por 14 departamentos e 16 centros de investigação onde estudam cerca de 8000 alunos e trabalham cerca de 450 docentes e 200 funcionários não docentes (31).

Relativamente ao Departamento de Engenharia Civil, este foi criado em 1996 e atualmente apresenta mais de 600 alunos inscritos e o corpo docente totaliza 35 professores (32).

O DEC é constituído por dois edifícios, sendo que estes se encontram interligados por uma estrutura metálica, do segundo ao quarto piso, Figura 4.4. e Figura 4.5.

Os edifícios apresentam quatro pisos, sendo o primeiro piso semienterrado. Um dos edifícios é composto maioritariamente por salas de aula e o outro é composto por gabinetes que pertencem aos docentes. Ambos os edifícios incorporam na sua estrutura instalações sanitárias e salas de reuniões. Na Figura 4.6 é apresentada a planta relativa a um dos pisos para permitir uma melhor análise do edifício.



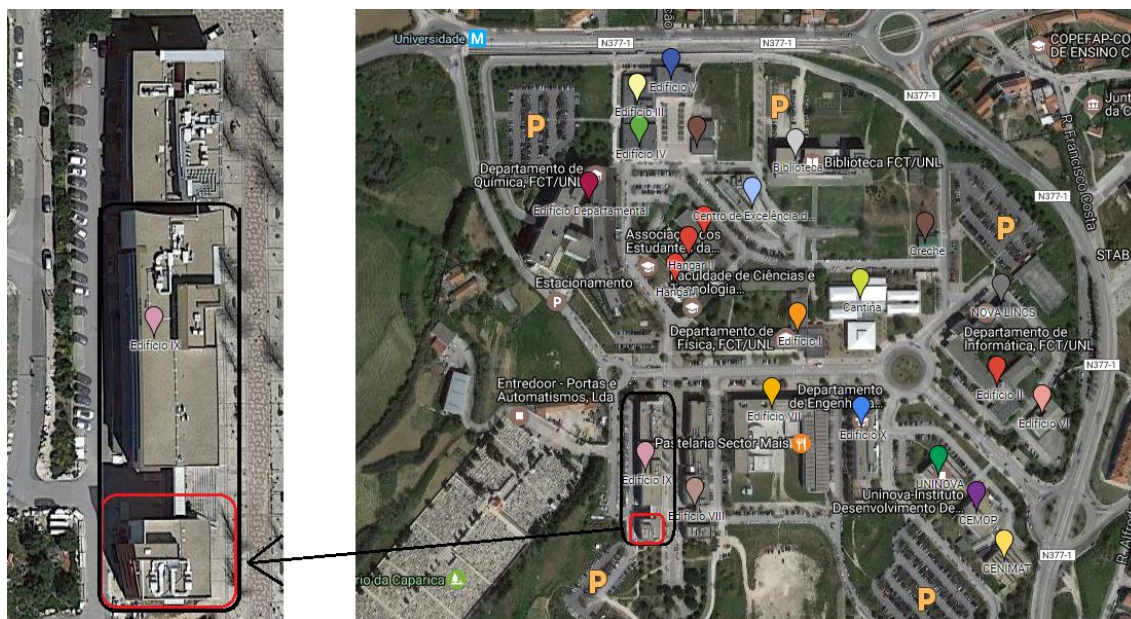


Figura 4.4 - Localização do caso de estudo no campus da FCT/ UNL [adaptado de (32)]



Figura 4.5 – Edifício em estudo

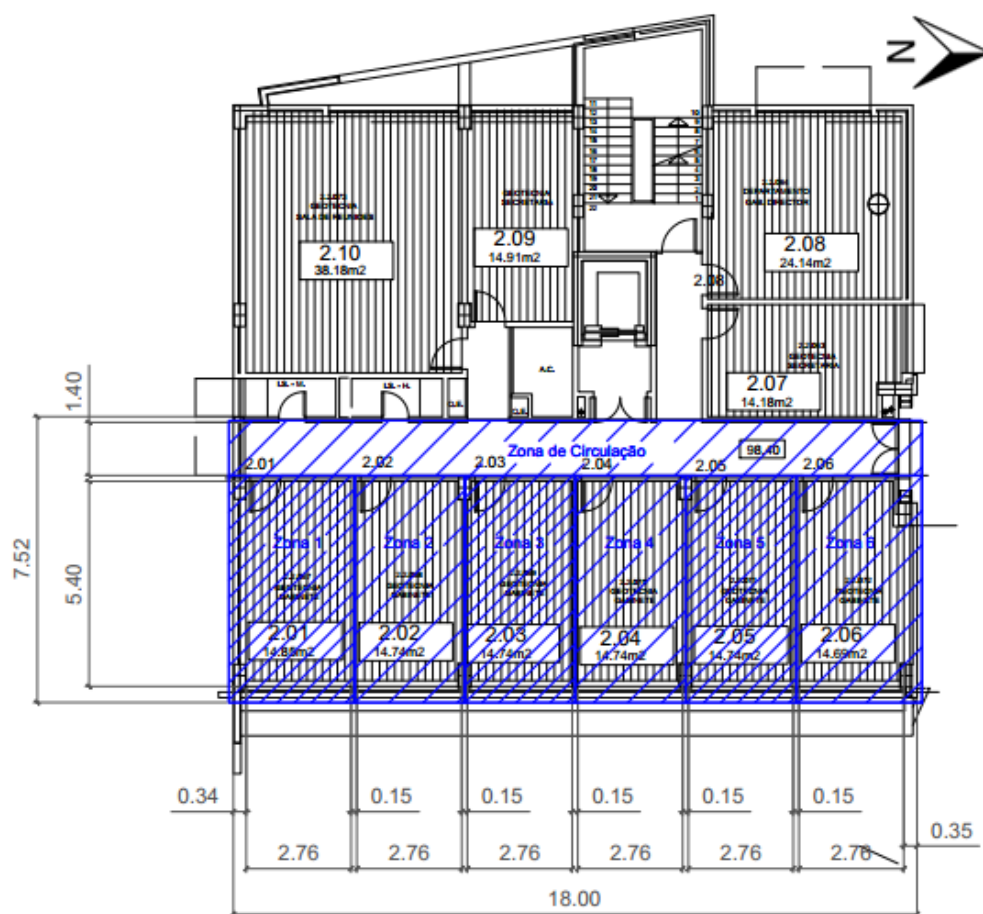


Figura 4.6 - Planta ilustrativa dos pisos do edifício estudado com as zonas em estudo identificadas a tracejado

O estudo para esta dissertação irá incidir nos gabinetes. Estes espaços apresentam uma constituição idêntica por piso: do lado Este são compostos por 6 gabinetes, com cerca de 14,70 metros quadrados cada, servidos por um corredor com largura de 1,5 metros. Estas particularidades podem ser analisadas em destaque na Figura 4.6. Relativamente às áreas que se encontram em contato com o ambiente exterior, estas podem ser observadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Áreas em contato com o ambiente exterior por zonas

Zona	Área de vão envidraçado em contacto com o exterior [m <sup>2</sup> ]	Área de fachada em contacto com o exterior [m <sup>2</sup> ]
1	4,30	32,36
2	4,19	10,91
3	4,19	10,91
4	4,19	10,91
5	4,19	10,91
6	4,15	32,36
Circulação	5,04	11,62

#### 4.2.2. Caracterização das Soluções Construtivas

As soluções construtivas adotadas num edifício apresentam uma grande influência no ambiente térmico interior. Quanto mais adverso for o ambiente exterior em que o edifício se insere, maior é esta influência.

O comportamento de um edifício também é influenciado pelo tipo de uso. Neste caso, tem-se um edifício com uma utilização intermitente cíclica, com uma utilização aproximada de 11 horas diárias, das 8 às 19 horas, e sem utilização no restante período.

A nível estrutural, o edifício apresenta uma estrutura em betão armado, sendo constituído por uma malha de pilares onde assenta uma laje fungiforme.

A solução existente para as paredes exteriores, paredes interiores e laje/pavimento pode ser verificada em pormenor nas Tabelas 4.3 a 4.6, bem com algumas propriedades dos materiais que as constituem, nomeadamente os valores de resistências térmicas considerados e o coeficiente de transmissão térmica para cada elemento construtivo.

Tabela 4.3 - Coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores (zona corrente)

Elemento	e - Espessura	$\lambda$ - Condutibilidade térmica	R - Resistência térmica	U - Coeficiente de transmissão térmica
	[m]	[W/(m. °C)]	[(m². °C)/W]	[W/(m². °C)]
<b>Acabamento cerâmico</b>	0,01	1,3	0,008	0,95
<b>Reboco</b>	0,02	1,3	0,015	
<b>Alvenaria</b>	0,11	-	0,270	
<b>Caixa-de-ar</b>	0,04	-	0,180	
<b>Alvenaria</b>	0,15	-	0,390	
<b>Reboco</b>	0,02	1,3	0,015	
<b>R<sub>si</sub></b>	-	-	0,130	
<b>R<sub>se</sub></b>	-	-	0,040	

Tabela 4.4 - Coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores (zona estrutural)

Elemento	e - Espessura	$\lambda$ - Condutibilidade térmica	R - Resistência térmica	U - Coeficiente de transmissão térmica
	[m]	[W/(m. °C)]	[(m². °C)/W]	[W/(m². °C)]
<b>Acabamento cerâmico</b>	0,01	1,3	0,008	2,79
<b>Reboco</b>	0,02	1,3	0,015	
<b>Pilar de Betão</b>	0,30	2,0	0,150	
<b>Reboco</b>	0,02	1,3	0,015	
<b>R<sub>si</sub></b>	-	-	0,130	
<b>R<sub>se</sub></b>	-	-	0,040	



Tabela 4.5 - Coeficiente de transmissão térmica das paredes interiores

Elemento	e - Espessura	$\lambda$ - Condutibilidade térmica	R - Resistência térmica	U - Coeficiente de transmissão térmica
	[m]	[W/(m. °C)]	[(m². °C)/W]	[W/(m². °C)]
<b>Reboco</b>	0,02	1,3	0,015	1,78
<b>Alvenaria</b>	0,11	-	0,270	
<b>Reboco</b>	0,02	1,3	0,015	
<b>R<sub>si</sub></b>	-	-	0,130	
<b>R<sub>se</sub> = R<sub>si</sub></b>	-	-	0,130	

Tabela 4.6 - Coeficiente de transmissão térmica para laje/pavimento

Elemento	e - Espessura	$\lambda$ - Condutibilidade térmica	R - Resistência térmica	U - Coeficiente de transmissão térmica
	[m]	[W/(m. °C)]	[(m². °C)/W]	[W/(m². °C)]
<b>Cortiça</b>	0,015	0,065	0,231	1,59
<b>Betonilha</b>	0,08	1,3	0,062	
<b>Laje de betão</b>	0,25	2,00	0,125	
<b>Espaço Ar</b>	0,10	-	0,15	
<b>Teto falso (gesso cartonado)</b>	0,015	0,25	0,060	

Quanto aos vãos envidraçados, a solução existente é constituída por uma caixilharia metálica com vidro duplo incolor sem corte térmico. Existe um sistema de proteção solar nos vãos envidraçados da fachada Este. No entanto, esta proteção é constituída por palas horizontais, o que se traduz num efeito praticamente nulo.

Tabela 4.7 - Coeficiente de transmissão térmica para o vão envidraçado [adaptado de (33)]

Tipo de vão envidraçado	Número de Vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar	U <sub>w</sub>	U <sub>wdn</sub>
					Dispositivo de oclusão noturna
					Cortina interior opaca
			[mm]	[W/(m². °C)]	[W/(m². °C)]
<b>Simplex (1 janela)</b>	2 (vidro duplo)	de correr	6	4,5	<b>3,9</b>

### 4.3. Padrões de Utilização

Relativamente aos padrões de utilização do edifício, foi utilizada uma combinação entre os dados recolhidos através dos questionários e os padrões de referência segundo o RSECE (DL n.º79/2006), que define a taxa de ocupação, a iluminação e os equipamentos, tendo sido considerado para o caso dos equipamentos um valor de 10 W/m².

As percentagens consideradas de ocupação, iluminação e equipamentos podem ser visualizadas com pormenor no Anexo III.



## 5. Metodologia de Estudo

Sendo a avaliação das condições de conforto térmico o principal objetivo deste estudo, a metodologia de análise de conforto térmico assume um papel fundamental. Recorreu-se a ambas as abordagens de avaliação de conforto térmico: analítica e empírica. Sendo assim possível comparar os resultados obtidos pelos diferentes métodos de análise de conforto térmico.

### 5.1. Desenvolvimento e Apresentação do Questionário

Com o objetivo de avaliar o nível de conforto térmico e as estratégias colocadas em prática pelos utilizadores dos gabinetes do edifício em estudo para as combater, foi realizada uma pesquisa bibliográfica e elaborado um questionário específico.

Relativamente à estrutura e ao conteúdo do questionário, o mesmo encontra-se dividido em três grupos, Figura 5.1. O primeiro grupo é referente à informação pessoal do inquirido (faixa etária e sexo). O segundo grupo é relativo ao local de trabalho, sendo que este se encontra subdividido no período temporal em que o inquirido permanece no local em estudo, se existe desconforto térmico e no caso de existir, o período do ano em que se verifica este mesmo desconforto (Verão/Inverno). O último grupo é respeitante à forma como o inquirido sente o ambiente durante o período de Verão e de Inverno, o uso de equipamentos e a sua frequência de utilização. O questionário utilizado pode ser visualizado no Anexo II.

**1. Informação Pessoal**

Faixa etária: ☐ 15-24  
☐ 25-54  
☐ 55-64  
☐ >65

Sexo: ☐ Masculino ☐ Feminino

Momento da avaliação: \_\_\_\_ hora(s) \_\_\_\_ minuto(s)

Local da avaliação: ☐ Gabinete n°: \_\_\_\_\_

**2. Local de trabalho**

**2.1. Qual é o seu horário de trabalho:**

Entra antes das:	<input type="radio"/> 8h	Sai depois das:	<input type="radio"/> 16h
	<input type="radio"/> 9h		<input type="radio"/> 17h
	<input type="radio"/> 10h		<input type="radio"/> 18h
	<input type="radio"/> 11h		<input type="radio"/> 19h
	<input type="radio"/> 12h		<input type="radio"/> 20h

**2.2. Sente desconforto térmico no seu local de trabalho?**

☐ Não

☐ Sim => períodos do ano em que mais sente esse desconforto? ☐ Verão ☐ Inverno

**3. Conforto Térmico**

Considerando apenas o ambiente térmico do local onde se encontra, responda às seguintes questões:

**3.1. Como sente o ambiente térmico no Inverno?**

☐ Muito mais quente (+3)  
☐ Mais quente (+2)  
☐ Ligeiramente mais quente (+1)  
☐ Sem alteração (0)  
☐ Ligeiramente mais frio (-1)  
☐ Mais frio (-2)  
☐ Muito mais frio (-3)

**3.2. Como sente o ambiente térmico no Verão?**

☐ Muito mais quente (+3)  
☐ Mais quente (+2)  
☐ Ligeiramente mais quente (+1)  
☐ Sem alteração (0)  
☐ Ligeiramente mais frio (-1)  
☐ Mais frio (-2)  
☐ Muito mais frio (-3)

**3.3. Costuma fazer uso dos equipamentos para arrefecer/ aquecer o ambiente?**

Verão: <input type="radio"/> Ar Condicionado	Inverno: <input type="radio"/> Ar Condicionado
<input type="radio"/> Ventoinha	<input type="radio"/> Aquecedor
<input type="radio"/> Outro: _____	<input type="radio"/> Outro: _____

**3.4. Com que frequência utiliza o(s) equipamento(s) que selecionou na pergunta acima?**

Verão: <input type="radio"/> Raramente	Inverno: <input type="radio"/> Raramente
<input type="radio"/> Ocasionalmente	<input type="radio"/> Ocasionalmente
<input type="radio"/> Muitas vezes	<input type="radio"/> Muitas vezes
<input type="radio"/> Sempre	<input type="radio"/> Sempre

Figura 5.1 – Estrutura do questionário

## 5.2. Caraterização da Amostra

O questionário acima referido foi entregue a quinze utilizadores dos gabinetes individuais em estudo, durante o período de 23 de março de 2017 a 20 de abril de 2017, momento em que os questionários foram distribuídos e recolhidos.

## 5.3. Análise dos Resultados

Para a análise de resultados considerou-se a existência dos dezassete gabinetes individuais. Desta forma, as respostas de quinze questionários entregues representam uma adesão de 88,24%.

Quanto aos utilizadores dos gabinetes em estudo, concluiu-se que são maioritariamente do sexo masculino, cerca de 70%. Relativamente à faixa etária, optou-se por uma divisão em quatro grupos, situando-se a maioria entre os 25 e os 54 anos, cerca de 79%. Estas percentagens podem ser observadas com maior detalhe nas Figuras 5.2 e 5.3, respetivamente.

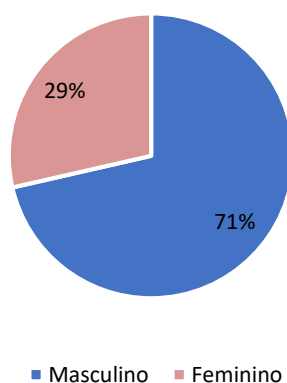


Figura 5.2 – Representação gráfica da distribuição dos inquiridos por género

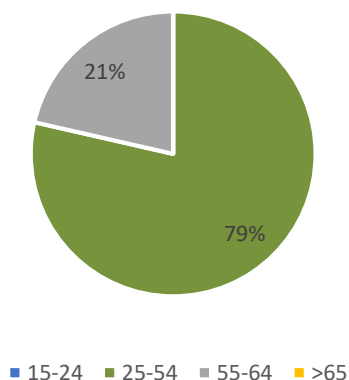


Figura 5.3 - Representação gráfica da distribuição dos inquiridos por faixa etária

Em relação ao horário dos utilizadores dos espaços em estudo, concluiu-se que, em média, o seu horário de entrada e de saída se situa antes das 9 horas e após as 18 horas, Figura 5.4 e Figura 5.5, respetivamente.

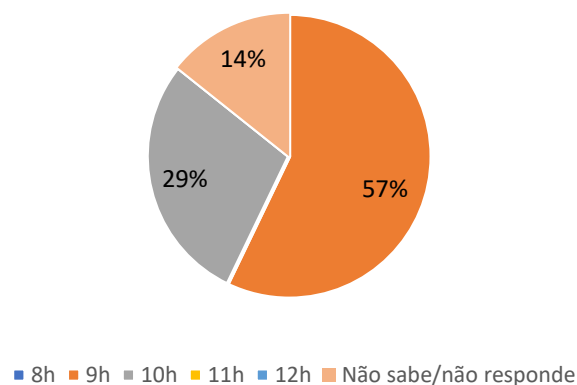


Figura 5.4 - Representação gráfica da distribuição do horário de entrada dos inquiridos

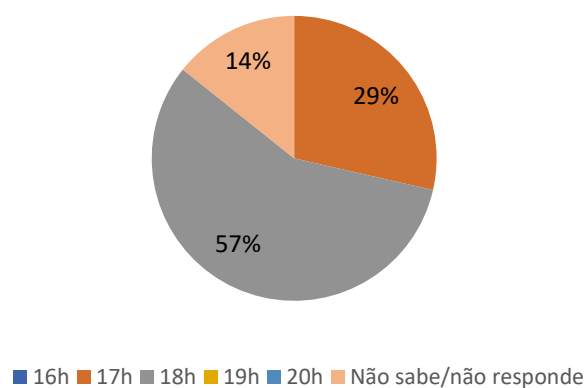


Figura 5.5 - Representação gráfica da distribuição do horário de saída dos inquiridos

No que diz respeito ao conforto térmico, equipamentos e à frequência da sua utilização, concluiu-se que 93% dos utilizadores sente desconforto térmico, sendo este desconforto semelhante nos dois períodos do ano em estudo, Figura 5.6 e Figura 5.7, respetivamente.

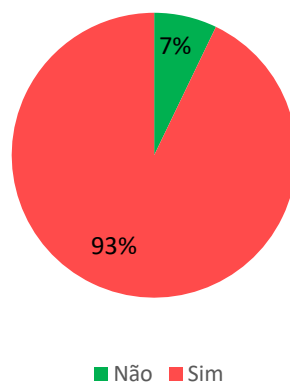


Figura 5.6 – Representação gráfica da distribuição do desconforto térmico sentido pelos inquiridos

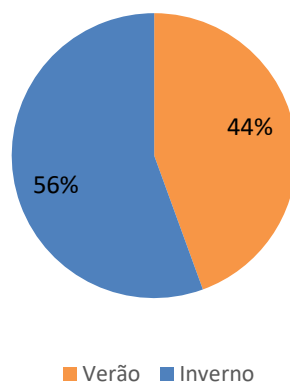


Figura 5.7 – Representação gráfica da distribuição do período do ano em que os inquiridos mais sentem desconforto térmico

De forma a averiguar a existência de desconforto térmico foi utilizada a escala de sensação térmica descrita no Capítulo 2. Para o período de aquecimento, analisando a escala de sensação térmica, podemos concluir que 87% dos inquiridos se encontram descontentes com o ambiente térmico, Figura 5.8 e Figura 5.9.

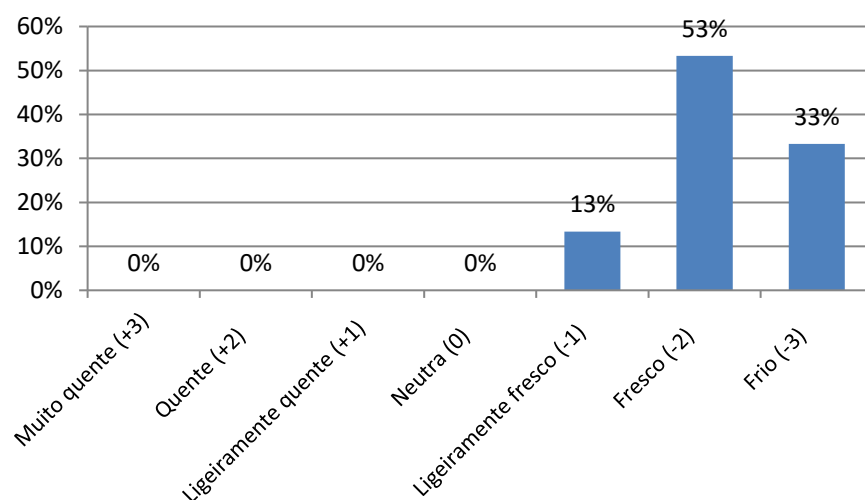


Figura 5.8 - Classificação da sensação térmica dos inquiridos para o período de Inverno

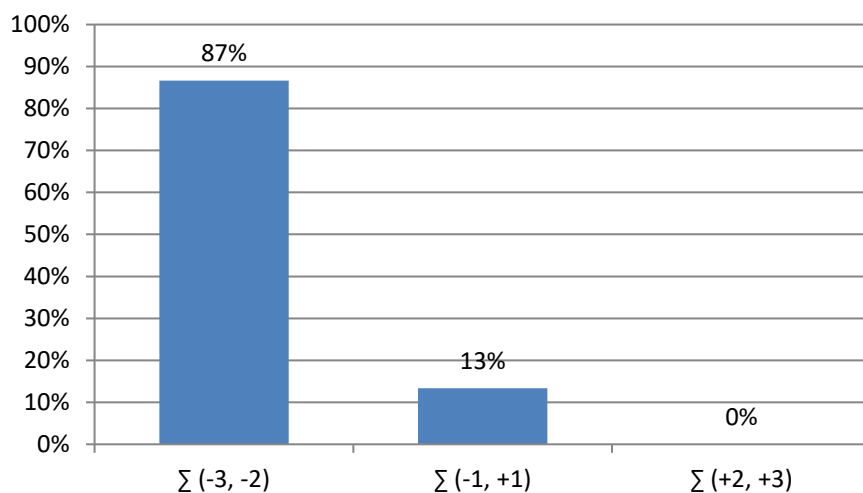


Figura 5.9 - Índices de sensação térmica agrupados

Considerou-se também relevante inquirir sobre os equipamentos utilizados e a sua frequência de utilização. Relativamente aos equipamentos utilizados para aquecimento, concluiu-se que 73% utiliza ar condicionado e 20% utiliza aquecedor. A frequência de utilização de um equipamento é de 79% para “Muitas vezes” e de 14% para “Ocasionalmente”. Este facto comprova a necessidade de repor o conforto térmico, Figura 5.10 e Figura 5.11, respetivamente

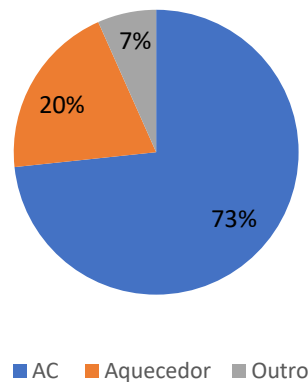


Figura 5.10 - Representação gráfica da distribuição dos equipamentos utilizados pelos inquiridos para o período de aquecimento (Inverno)

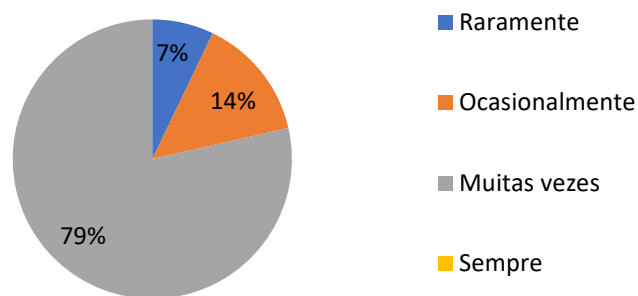


Figura 5.11 - Representação gráfica da distribuição da frequência de utilização pelos inquiridos dos equipamentos para o período de aquecimento (Inverno)

Relativamente ao período de arrefecimento (Verão), analisando a escala de sensação térmica pode concluir-se que 57% dos inquiridos se encontram descontentes com o ambiente térmico, Figura 5.12 e Figura 5.13. Esta percentagem é inferior aos 87% verificados para o período de Inverno.



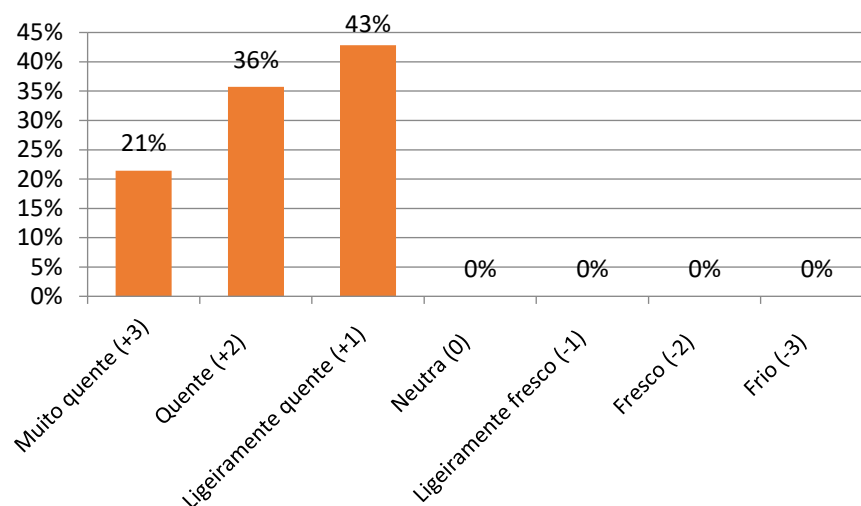


Figura 5.12 - Classificação da sensação térmica dos docentes inquiridos para o período de Verão

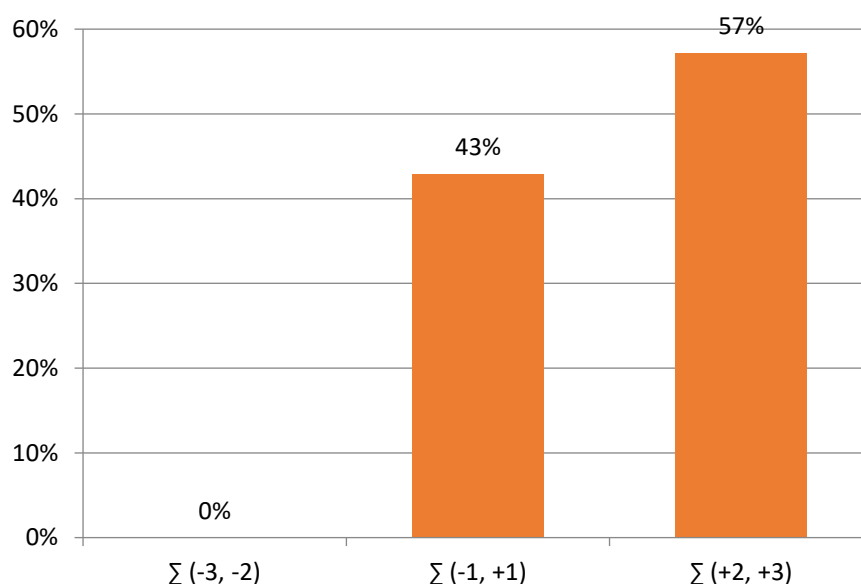


Figura 5.13 - Índices de sensação térmica agrupados

Relativamente aos equipamentos utilizados para arrefecimento, concluiu-se que cerca de 84% utiliza ar condicionado. A frequência de utilização de um equipamento é de 54% para “Muitas vezes” e de 31% para “Ocasionalmente”. Comprova-se assim, mais uma vez, a necessidade de repor o conforto térmico para este período, Figura 5.14 e Figura 5.15, respetivamente.

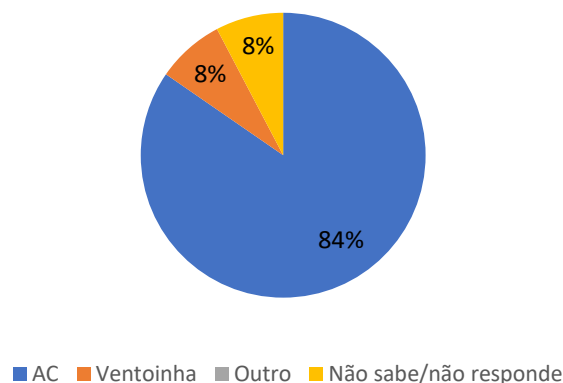


Figura 5.14 - Representação gráfica da distribuição dos equipamentos utilizados pelos inquiridos para o período de arrefecimento (Verão)

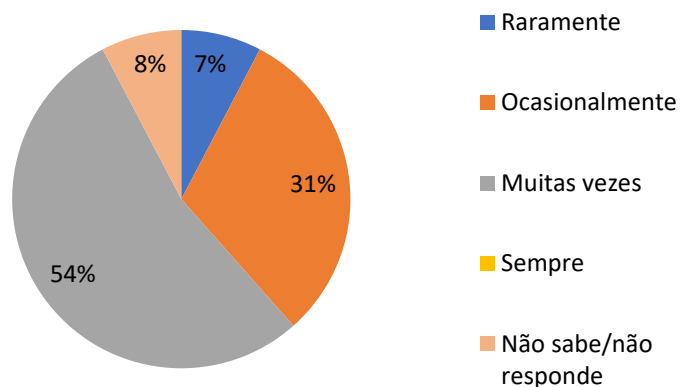


Figura 5.15 - Representação gráfica da distribuição da frequência de utilização pelos inquiridos dos equipamentos para o período de arrefecimento (Verão)

Relativamente aos questionários conclui-se que existe uma necessidade de melhoria para ambos os períodos, sendo esta necessidade maior no período de aquecimento.

Utilizou-se a escala de sensação térmica para a avaliação das condições de conforto térmico. Para o período de aquecimento, 87% dos inquiridos selecionaram as duas classes mais gravosas de desconforto térmico para as suas respostas, enquanto no período de arrefecimento estas classes corresponderam a 57% das respostas.

É de salientar que em ambos os períodos nenhum dos inquiridos identificou o ambiente em termos de conforto térmico como neutro.

## 5.4. Modelos de Conforto Térmico

Existem dois tipos de modelos para aferir o grau de conforto térmico: modelos analíticos e modelos adaptativos. O modelo analítico de Fanger é um dos mais utilizados pelas normas que abordam esta temática. Estes modelos resultam de estudos em câmaras climáticas, onde se variam diversos fatores ambientais e seguidamente se procede ao registo das sensações térmicas dos utilizadores para as diferentes combinações ambientais (14).

### 5.4.1. Modelos Analíticos

Em 1970, Fanger definiu um modelo PMV-PPD que tem por base um questionário realizado aos indivíduos que utilizam um dado espaço em estudo. O questionário tem como objetivo conhecer a sensação térmica dos utilizadores através de uma escala de conforto térmico, Tabela 5.1.

O PMV considera que um espaço apresenta condições de conforto térmico quando não mais do que 10% dos seus ocupantes se sintam desconfortáveis, ou seja, é baseado na suposição de serem escolhidos os indicadores +2, +3, -2, e -3 na escala de sensação térmica. Este método é utilizado tanto na ISO 7730, como na ASHRAE Standard 55 e é válido para espaços interiores em que a atividade dos ocupantes se encontre entre 1,0 e 2,0 met e a resistência térmica do vestuário seja no máximo 1,5 clo.

Tabela 5.1 - Escala de sensações térmicas (2)

PMV	Sensação
-3	Frio
-2	Fresco
-1	Ligeiramente fresco
0	Neutra
+1	Ligeiramente quente
+2	Quente
+3	Muito quente

### 5.4.2. Modelos Adaptativos

É possível analisar o conforto térmico através de modelos adaptativos. Estes modelos definem-se por critérios de conforto térmico que são baseados em estudos de campo onde são registadas as condições do ambiente e se recolhe a sensação térmica dos utilizadores dos espaços.

### 5.4.2.1. ASHRAE Standard 55

O método utilizado encontra-se representado no modelo gráfico na Figura 5.16, que relaciona a temperatura operativa,  $t_o$ , com a temperatura exterior média mensal,  $t_{a(out)}$ . Neste método existem duas zonas limite de aceitabilidade, uma de 80% e outra de 90%.

Este método é válido para espaços que não tenham sistemas de aquecimento ou arrefecimento ativos, em que a atividade dos ocupantes se encontre entre 1,0 e 1,3 met e as temperaturas médias mensais estejam compreendidas entre 10 e 33,5°C.

A temperatura operativa,  $t_o$ , é a média entre a temperatura média radiante e a temperatura do ar. O cálculo da temperatura operativa é realizado com base na seguinte equação:

$$t_o = \frac{(t_a + t_r)}{2} \quad (5.1)$$

Em que:

$t_o$  – temperatura operativa [°C];

$t_a$  – temperatura média do ar [°C];

$t_r$  – temperatura média radiante [°C].

A temperatura média radiante,  $t_r$ , pode ser definida como a temperatura uniforme de uma superfície fechada imaginária, na qual as transferências de calor radiante pelo corpo do ocupante são iguais à quantidade de calor radiante transferida no espaço fechado não uniforme onde se encontra. É um meio para exprimir a influência da temperatura de uma superfície no conforto dos ocupantes de um espaço. A temperatura exterior média mensal,  $t_{a(out)}$ , é a média aritmética temperaturas médias diárias mínimas e máximas para o mês em questão, podendo ser visualizada no Anexo V (2).

As equações das retas que definem os limites apresentados na Figura 5.16 encontram-se na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Intervalos de aceitabilidade para a temperatura operativa

Aceitabilidade	Limite	Equações
90%	Superior	$t_o = 0,31 \times t_{a(out)} + 17,8 + 2,5$
	Inferior	$t_o = 0,31 \times t_{a(out)} + 17,8 - 2,5$
80%	Superior	$t_o = 0,31 \times t_{a(out)} + 17,8 + 3,5$
	Inferior	$t_o = 0,31 \times t_{a(out)} + 17,8 - 3,5$

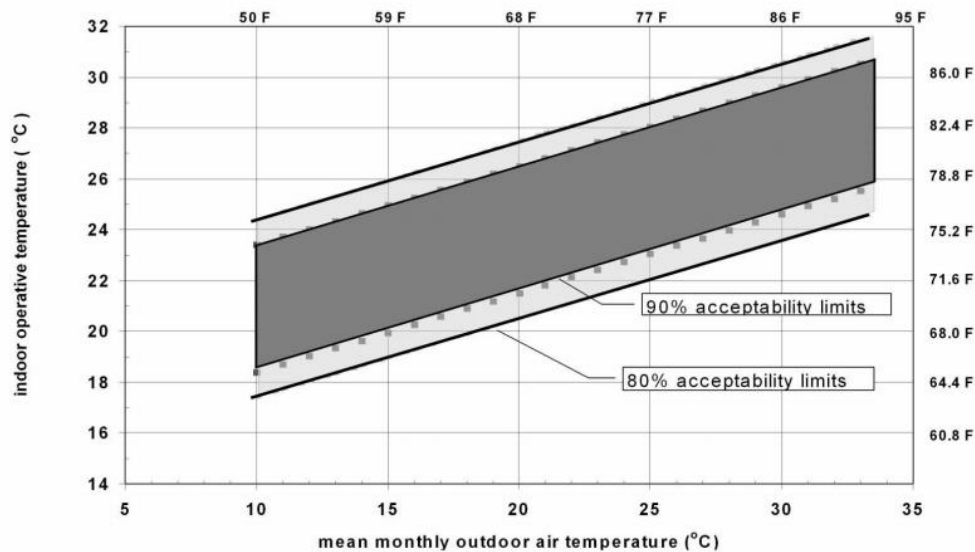


Figura 5.16 – Intervalo aceitável para o conforto térmico para espaços sem sistemas de aquecimento ou arrefecimento ativos (2)

#### 5.4.2.2. EN 15251

A norma EN 15251 tem como base a norma ISO 7730 e um conjunto de outras normas tanto a nível de ventilação como de conforto térmico. Esta norma especifica não só os parâmetros para espaços interiores habitáveis que têm impacto no desempenho energético dos edifícios, como também a forma de estabelecer estes mesmos parâmetros para a construção do sistema e cálculo do desempenho energético. É aplicável principalmente em edifícios não industriais, onde os critérios para o ambiente interior são definidos pela ocupação humana, como por exemplo: habitações unifamiliares, edifícios educacionais, apartamentos, hospitais, escritórios, hotéis e restaurantes, comércio grossista e retalhista, instalações desportivas e edifícios de serviço (26).

Esta norma permite calcular as temperaturas interiores aceitáveis para sistemas de aquecimento ou arrefecimento ativos. Para verificar as condições de conforto térmico é necessário saber a temperatura operativa e a temperatura média exterior exponencialmente ponderada. A temperatura média do ar exterior ponderada exponencialmente é dada pela equação (5.2).

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) \times \theta_{ed-1} + \alpha \times \theta_{rm-1} \quad (5.2)$$

Em que:

$\theta_{rm}$  - temperatura média exterior ponderada para o dia atual [°C];

$\theta_{ed-1}$  - temperatura diária média exterior para o dia anterior [°C];

$\theta_{rm-1}$  - temperatura média exterior ponderada para o dia anterior [°C];

$\alpha$  – constante entre 0 e 1 (valor recomendado pela norma: 0,8).

Para calcular a temperatura média exterior ponderada de um determinado dia é necessário saber a temperatura média exterior ponderada do dia anterior. Assim sendo, foi utilizada a equação (5.3), para o cálculo da primeira temperatura média exterior ponderada para cada período estudado (26). Os valores da temperatura média exterior ponderada podem ser visualizados no Anexo IV.

$$\theta_{rm-1} = (\theta_{ed-1} + 0,8 \times \theta_{ed-2} + 0,6 \times \theta_{ed-3} + 0,5 \times \theta_{ed-4} + 0,4 \times \theta_{ed-5} + 0,3 \times \theta_{ed-6} + 0,2 \times \theta_{ed-7})/3,8 \quad (5.3)$$

Em que:

$\theta_{rm-1}$  - temperatura média exterior ponderada para o dia anterior [°C];

$\theta_{ed-i}$  - temperatura diária média exterior para o dia anterior i [°C].

A norma EN 15251 define a exigência de conforto através de uma classificação que divide os edifícios em quatro categorias que variam de acordo com o tipo de construção e o grau de expectativa do ocupante, sendo o nível I o mais exigente e o nível III o menos exigente. Na categoria IV não são impostos requisitos, ou seja, utiliza-se esta categoria quando nenhuma das anteriores é adequada à situação em questão. As categorias e as suas descrições podem ser visualizadas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Categorias de aplicabilidade e descrição (26)

Categoria	Descrição
I	Alto nível de expectativa e é recomendada para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis com exigências especiais como deficientes, doentes, crianças muito novas e idosos
II	Nível normal de expectativa e deve ser usado para novos edifícios e renovações
III	Um nível de expectativa aceitável e moderado e pode ser usado para edifícios existentes
IV	Valores fora dos critérios para as categorias acima mencionadas. Esta categoria só deve ser aceite para uma parte limitada do ano

As categorias de conforto representam uma faixa de tolerância, de acordo com a Figura 5.17 e as equações correspondentes às linhas que definem as faixas encontram-se referidas na Tabela 5.4.

As linhas que definem as faixas correspondem a limites de conforto térmico. Estes limites aplicam-se quando a temperatura média exterior ponderada se encontra entre 10 e 30°C, para o limite superior, e quando se encontra entre 15 e 30°C, para o limite inferior. Quando a

temperatura média exterior ponderada é menor que 10°C ou menor que 15°C, para o limite superior e inferior respetivamente, utilizam-se os valores da Tabela 5.5, que estão definidos por tipo de edifício e respetiva categoria. Para valores de temperatura média exterior ponderada menores que 10°C, para o limite superior, e que 15°C, para o limite superior, utilizaram-se os valores das Tabela 5.5 e Tabela 5.6.

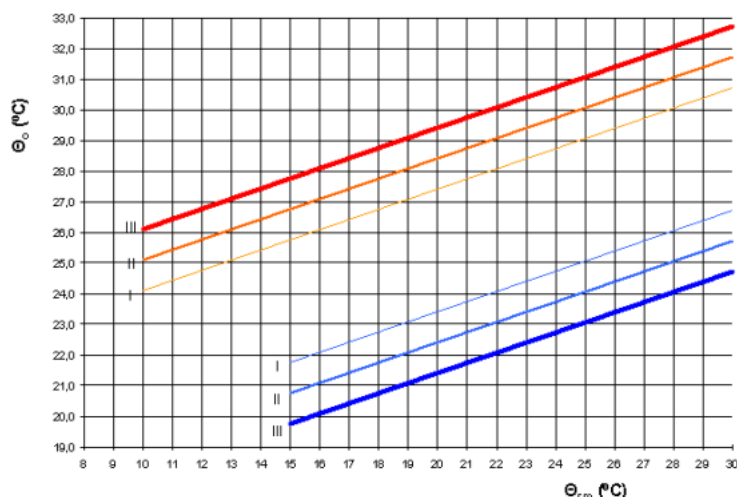


Figura 5.17 – Valores de projeto para a temperatura operativa interior em função da temperatura média exterior ponderada exponencialmente para edifícios com ventilação natural (26)

Tabela 5.4 – Intervalos para a temperatura operativa por categorias (26)

Categoria	Limite	Equações
I	Superior	$\Theta_{i \max} = 0,33 \times \Theta_{rm} + 18,8 + 2$
	Inferior	$\Theta_{i \min} = 0,33 \times \Theta_{rm} + 18,8 - 2$
II	Superior	$\Theta_{i \max} = 0,33 \times \Theta_{rm} + 18,8 + 3$
	Inferior	$\Theta_{i \min} = 0,33 \times \Theta_{rm} + 18,8 - 3$
III	Superior	$\Theta_{i \max} = 0,33 \times \Theta_{rm} + 18,8 + 4$
	Inferior	$\Theta_{i \min} = 0,33 \times \Theta_{rm} + 18,8 - 4$

Em que;

$\Theta_{i \max}$  – temperatura operativa máxima [°C];

$\Theta_{i \min}$  – temperatura operativa mínima [°C];

$\Theta_{rm}$  - temperatura média do ar [°C].

Tabela 5.5 - Valores de projeto para a temperatura operativa interior dos edifícios e sistemas AVAC (26)

Tipo de edifício / espaço	Categoria	Temperatura operativa (°C)	
		Mínima ≈1,0 clo	Máxima ≈0,5 clo
<b>Edifícios residenciais: quartos, sala de estar, cozinha.</b> <b>Atividade: Sedentarismo ≈ 1,2 met</b>	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
<b>Edifícios residenciais: outros espaços: armazéns, salões, etc</b> <b>Atividade: Estar de pé – Andar ≈ 1,6 met</b>	I	18,0	-
	II	16,0	-
	III	14,0	-
<b>Escritórios</b>	I	21,0	25,5

Atividade: Sedentarismo $\approx 1,2$ met	II	20,0	26,0
	III	<b>19,0</b>	<b>27,0</b>
Escritórios “open office” Atividade: Sedentarismo $\approx 1,2$ met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Salas de conferência Atividade: Sedentarismo $\approx 1,2$ me	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Auditórios Atividade: Sedentarismo $\approx 1,2$ met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Cafés / Restaurantes Atividade: Sedentarismo $\approx 1,2$ met	I	21,0	25,0
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Salas de aula Atividade: Sedentarismo $\approx 1,2$ met	I	21,0	25,0
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Infantários Atividade: Estar de pé – Andar $\approx 1,4$ met	I	19,0	24,5
	II	17,5	25,5
	III	16,6	26,0
Estabelecimento comercial Atividade: Estar de pé – Andar $\approx 1,6$ met	I	17,5	24,0
	II	16,0	25,0
	III	15,0	26,0

Tabela 5.6 - Limites de temperaturas para aquecimento e arrefecimento por categoria e tipo de edifício  
(26)

Tipo de edifício / espaço	Categoria	Escala de temperatura para aquecimento, °C	Escala de temperatura para arrefecimento, °C
		Vestuário $\approx 1,0$ clo	Vestuário $\approx 0,5$ clo
Edifícios residenciais: quartos, sala de estar, cozinha. Atividade: Sedentarismo $\approx 1,2$ met	I	21,0 – 25,0	23,5 - 25,5
	II	20,0 – 25,0	23,0 - 26,0
	III	18,0 – 25,0	22,0 - 27,0
Edifícios residenciais: outros espaços: cozinhas, armazéns, etc Atividade: Estar de pé – Andar $\approx 1,5$ met	I	18,0 – 25,0	-
	II	16,0 – 25,0	-
	III	14,0 – 25,0	-
Escritórios e espaços com atividades semelhantes: Escritórios “open office”, Salas de conferência, Auditórios, Cafés, Restaurantes, Salas de aula Atividade: Sedentarismo $\approx 1,2$ met	I	21,0 – 23,0	23,5 - 25,5
	II	20,0 – 24,0	23,0 - 26,0
	III	<b>19,0 – 25,0</b>	<b>22,0 - 27,0</b>
Infantários Atividade: Estar de pé – Andar $\approx 1,4$ met	I	19,0 – 21,0	22,5 - 24,5
	II	17,5 – 22,5	21,5 - 25,5
	III	16,6 – 23,5	21,0 - 26,0
Estabelecimento comercial Atividade: Estar de pé – Andar $\approx 1,6$ met	I	17,5 – 20,5	22,0 - 24,0
	II	16,0 – 22,0	21,0 - 25,0
	III	15,0 – 23,0	20,0 - 26,0



## **5.5. Apresentação do programa *EnergyPlus***

### **5.5.1. Considerações Gerais**

A simulação dinâmica de edifícios é um tema a que muitos países têm dado importância. Assim sendo, surgiram diversos programas e houve a necessidade de normalizar esta temática através da criação de normas.

O *EnergyPlus* é um programa de simulação que permite uma análise térmica e energética de edifícios, sendo utilizado em estudos de necessidade e consumo energético (34). Este programa foi desenvolvido pelo DOE (*Department of Energy*, Estados Unidos) e é utilizado por engenheiros, arquitetos e investigadores. A versão do *EnergyPlus* utilizada foi a 8.4.0.

O *EnergyPlus* é um programa acreditado para realização de cálculos dinâmicos. Outros programas acreditados são, por exemplo, HTAL, TUD, CA-SIS, CLM2000, DOE21E, TRN, TRNSYS (35). A exigência nacional de um programa acreditado foi um requisito imposto pelo RSECE (DL 79/2006), que remete para a Norma ASHRAE 140 (35).

### **5.5.2. Modelo de Simulação**

Desenvolveu-se um modelo de simulação que contemplou diversas fases. Considerou-se necessário dimensionar exaustivamente a geometria do modelo através dos dados retirados das plantas e alçados apresentados no Anexo I e definir as propriedades dos materiais de todos os elementos que compõem as soluções construtivas (paredes exteriores e interiores, lajes e vãos envidraçados). Consideraram-se, ainda, outros parâmetros relevantes para a conceção do modelo de simulação neste programa, tais como, o tipo de terreno, a orientação do edifício, os padrões de iluminação, ocupação e equipamentos, infiltração e sombreamento.

Considerou-se que não seria vantajoso a introdução de todos os pisos, uma vez que as soluções apresentadas para um piso podem ser extrapoladas para os restantes pisos. Assim, o modelo apresentado contempla apenas o segundo piso.

O modelo apresenta duas zonas distintas, a zona de circulação, de acesso aos gabinetes, e a zona de gabinetes, constituída por seis gabinetes individuais, como é possível observar na Figura 5.18. Em termos de zonas térmicas, optou-se por considerar 7 zonas térmicas, uma para a zona de circulação e ainda outras seis, uma para cada gabinete individual, Figura 5.19.

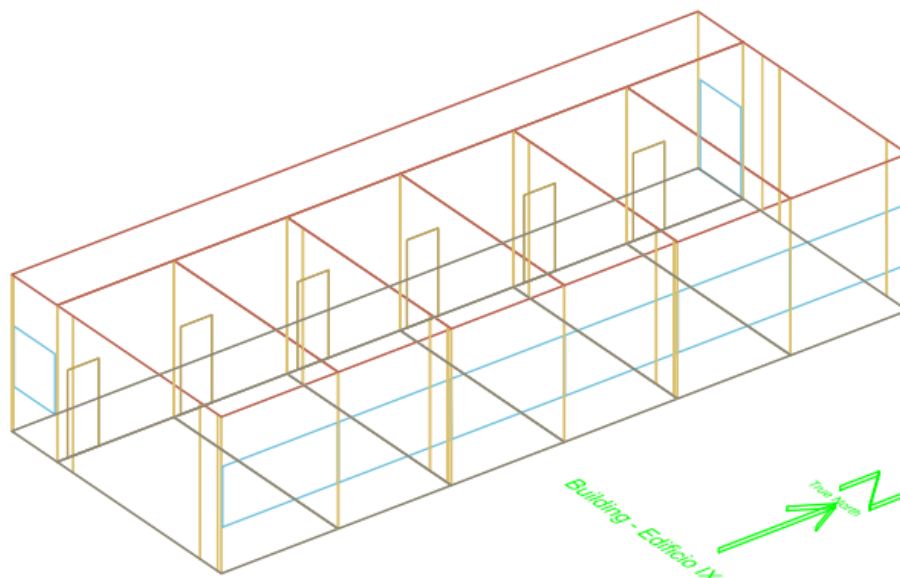


Figura 5.18 – Representação 3D do modelo de simulação correspondente à zona do edifício em estudo

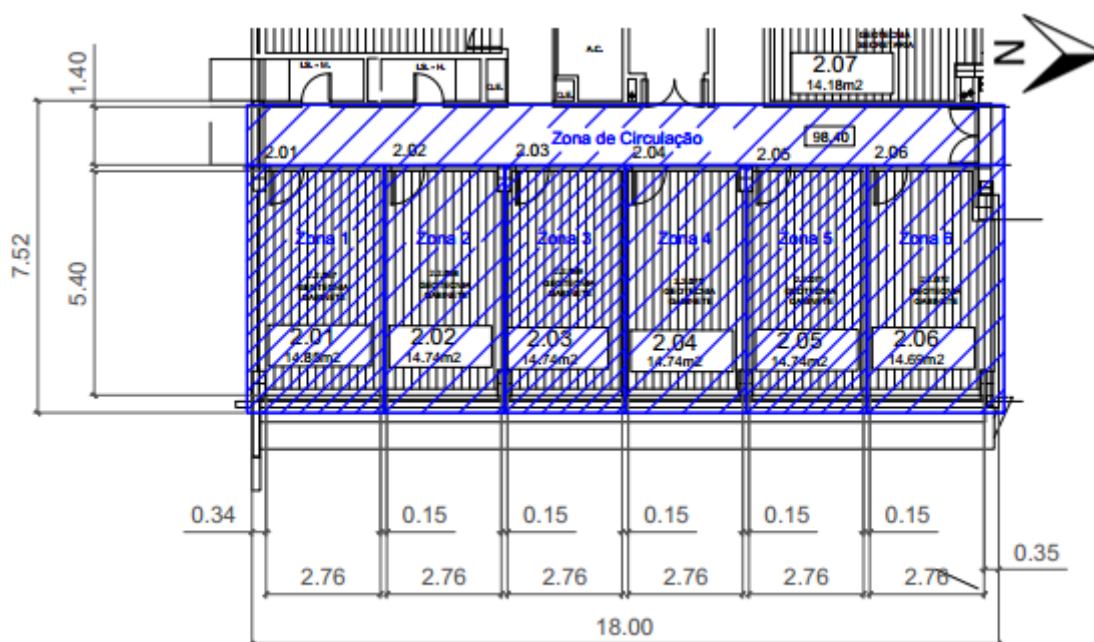


Figura 5.19 – Representação das zonas térmicas consideradas

### 5.5.3. Dados Climáticos

Relativamente ao ficheiro climático utilizado, optou-se por utilizar o ficheiro climático disponibilizado na plataforma do programa *EnergyPlus* relativo a Portugal para a região de Lisboa (INETI). Este tipo de ficheiro climático trabalha com distintos fatores, tais como, temperatura, nebulosidade, humidade relativa, radiação global/solar, precipitação e intensidade do vento (36).

## 6. Análise dos Resultados das Simulações

### 6.1. Considerações Iniciais

Os três pisos dos gabinetes em estudo apresentam uma grande semelhança em relação à geometria e exposição ao meio ambiente. Devido a esta semelhança entre gabinetes e após a análise das temperaturas interiores obtidas pelas simulações efetuadas com o programa *EnergyPlus*, verificou-se que os gabinetes correspondentes às zonas 1 e 6, 2 e 5 e 3 e 4 são os grupos que apresentam mais semelhanças entre si, tendo apresentado temperaturas muito idênticas. A apresentação de resultados desta dissertação incidiu nos gabinetes correspondentes às zonas 1 e 3, Figura 6.1, uma vez que são indicativos do comportamento dos restantes gabinetes, pois para o período de aquecimento a zona 1 apresenta as temperaturas mais baixas e no período de arrefecimento a zona 3 apresenta as temperaturas mais elevadas.

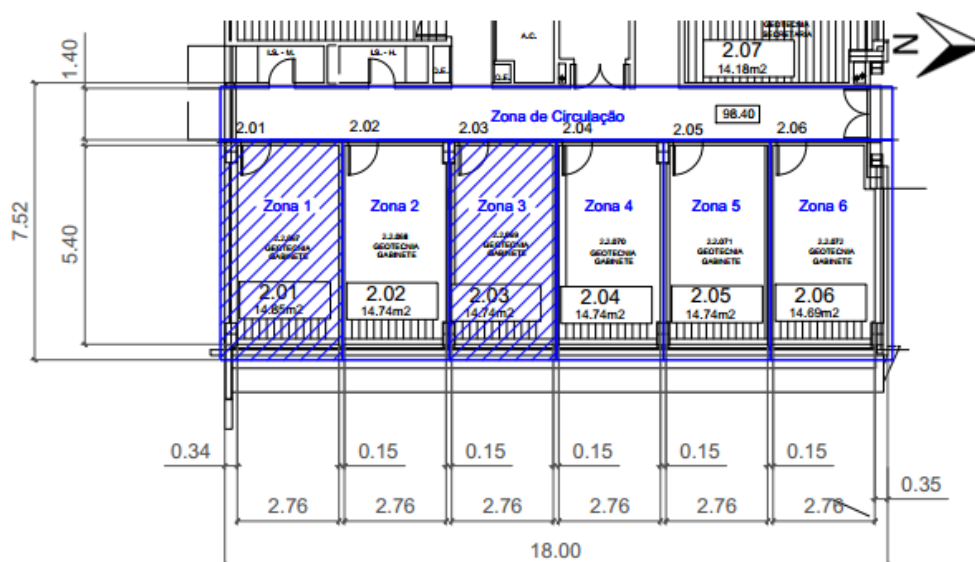


Figura 6.1 - Planta ilustrativa dos gabinetes analisados, identificados a tracejado

A análise do conforto térmico foi realizada com base na metodologia das duas normas mencionadas anteriormente, a ASHRAE Standard 55 e a EN 15251, sendo as simulações efetuadas com o edifício a funcionar em regime livre, isto é, sem recorrer aos sistemas de climatização. Realizou-se duas análises, uma para um período de aquecimento e outra para um período de arrefecimento. Estes intervalos tiveram em consideração a Tabela 6.1, onde é possível observar os meses onde as temperaturas exteriores, obtidas pelas simulações efetuadas com o programa *EnergyPlus*, são as mais baixas e as mais elevadas.

A análise efetuada para o período de aquecimento incidiu sobre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, o que corresponde a uma análise de 90 dias. No período de arrefecimento, a análise incidiu sobre os meses de junho, julho, agosto e setembro, o que corresponde a uma

análise de 122 dias. Foram também analisados dois dias representativos para cada período com o objetivo de analisar a variação da temperatura ao longo do dia para as diversas soluções.

Tabela 6.1 – Temperatura média exterior fornecida pelo *EnergyPlus* em cada mês

Mês	Temperatura média exterior
	[°C]
<b>Janeiro</b>	<b>10,63</b>
<b>Fevereiro</b>	<b>11,48</b>
Março	12,84
Abril	14,64
Maio	17,34
<b>Junho</b>	<b>20,07</b>
<b>Julho</b>	<b>22,35</b>
<b>Agosto</b>	<b>22,56</b>
<b>Setembro</b>	<b>21,25</b>
Outubro	17,78
Novembro	13,60
<b>Dezembro</b>	<b>11,01</b>

## 6.2. Solução Existente

Relativamente à solução existente, considerou-se as soluções já explicitadas no Capítulo 4. É de salientar que, apesar do edifício possuir palas horizontais como mecanismo de sombreamento, devido à orientação da fachada, verifica-se que estas não têm grande eficiência e, como tal, optou-se por fazer as análises sem considerar a sua existência.

### 6.2.1. Período de Aquecimento

- Variação da temperatura ao longo do dia:

Nas Figuras 6.2 e 6.3, é possível observar a temperatura exterior e a temperatura média do ar na zona 1 e na zona 3, respetivamente. A variação da temperatura interior é diretamente influenciada pelo aumento ou diminuição da temperatura exterior. É também possível observar um aumento considerável da temperatura interior por volta das 8 horas da manhã, o que se deve maioritariamente aos ganhos solares que se fazem sentir a partir desta hora, momento a partir do qual os gabinetes começam também a ser utilizados.

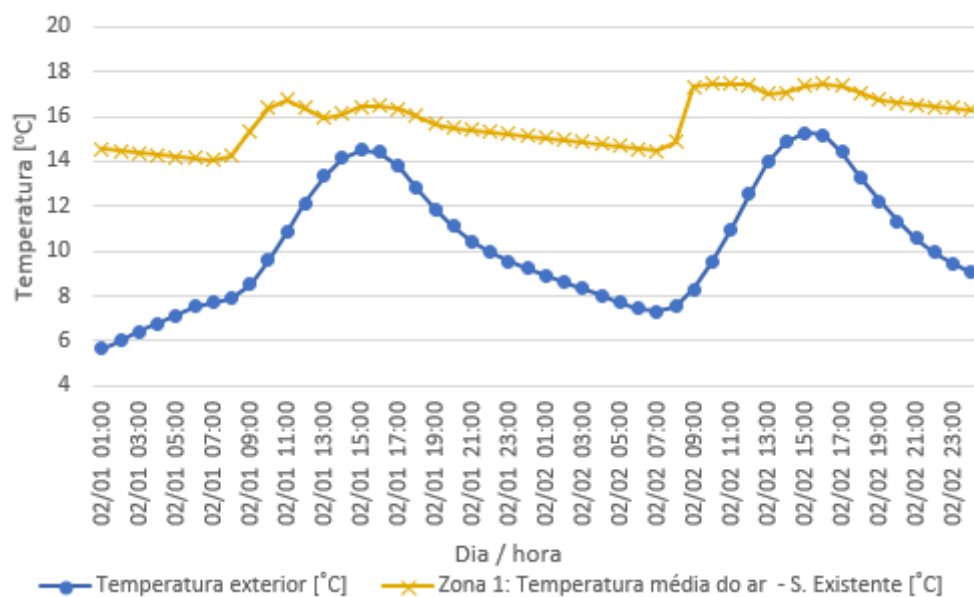


Figura 6.2 - Evolução das temperaturas exterior e média do ar na zona 1 nos dias 1 e 2 de fevereiro

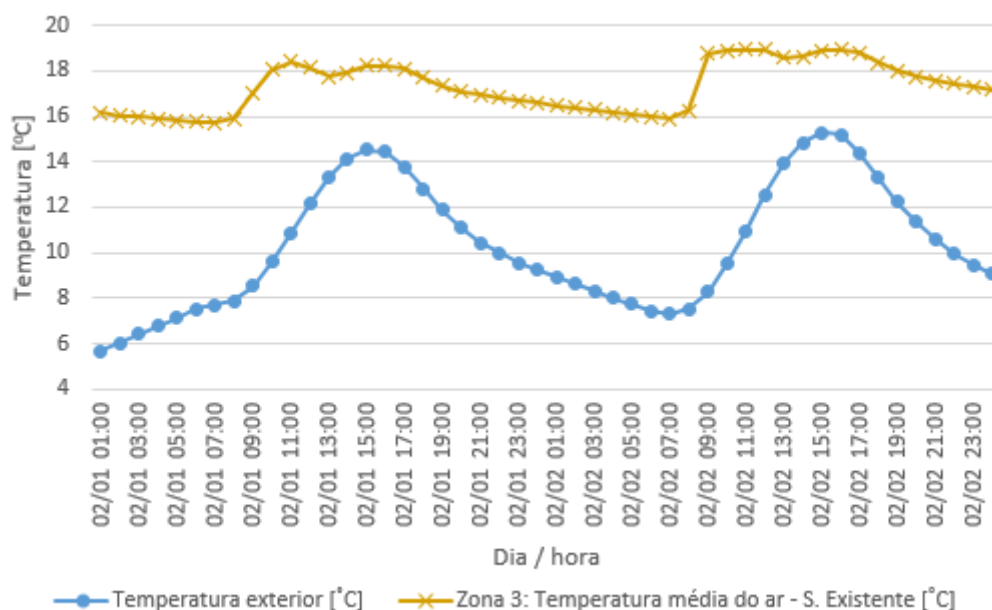


Figura 6.3 - Evolução das temperaturas exterior e média do ar na zona 3 nos dias 1 e 2 de fevereiro

### Verificação do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.4, relativa ao período de aquecimento na zona 1, que não se verificam as condições de conforto térmico em 93% dos dias pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.5, que 81% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80% e que 93% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%.

É possível observar, através da Figura 6.6 relativa ao período de aquecimento na zona 3, que em 87% dos dias não se verificam as condições de conforto térmico pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.7, que 60% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80% e que 87% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%.

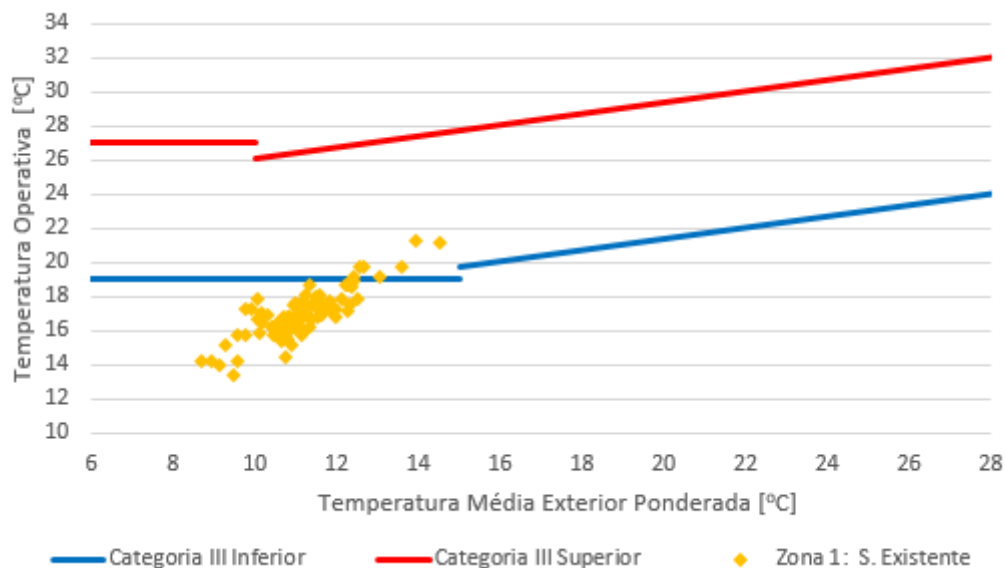


Figura 6.4 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 1 pela norma EN 15251

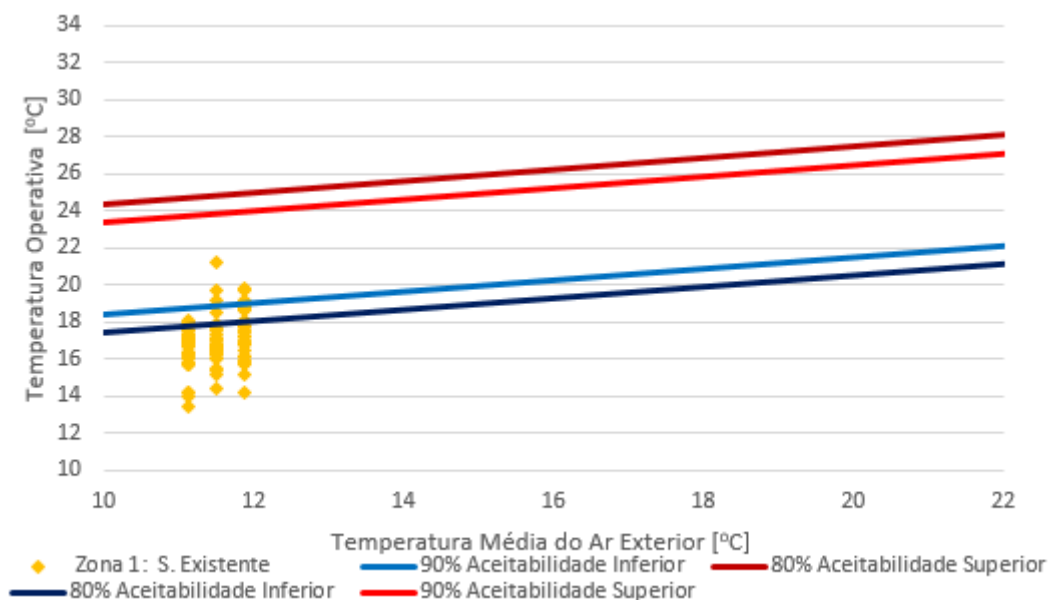


Figura 6.5 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

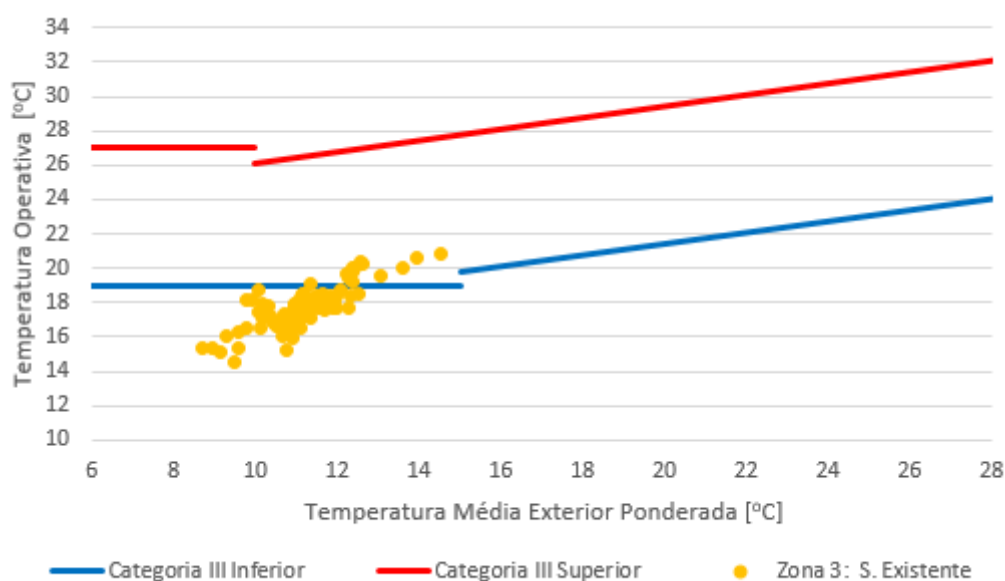


Figura 6.6 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 3 pela norma EN 15251

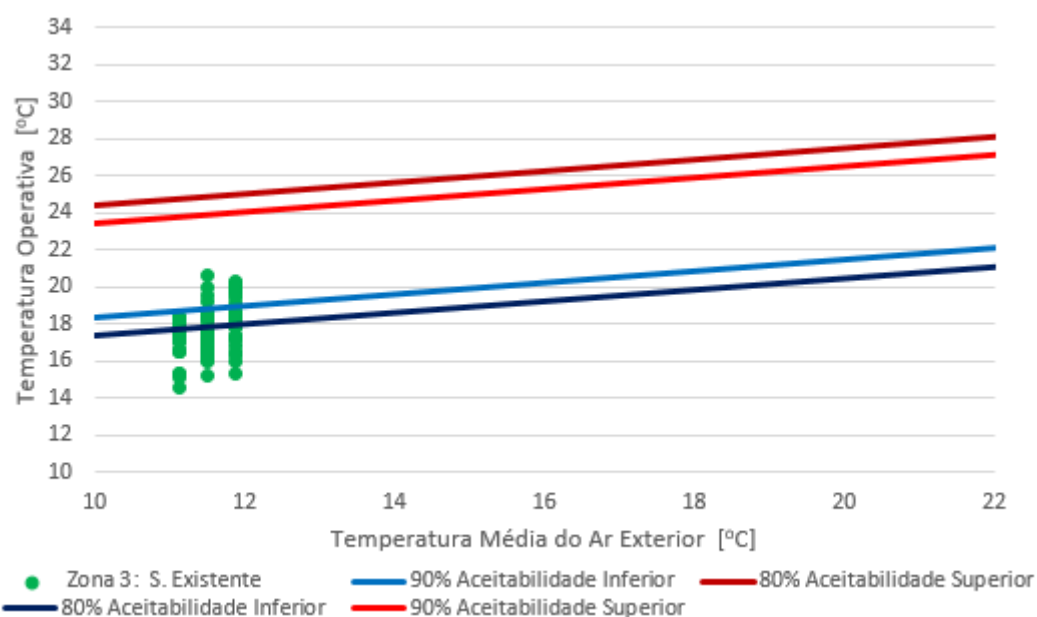


Figura 6.7 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

### Análise Comparativa entre os Questionários e os Modelos Adaptativos:

Os resultados obtidos através dos questionários indicam que 87% dos inquiridos sente desconforto térmico neste período. Os modelos adaptativos vão ao encontro a estes dados: pela norma EN 15251, cerca de 90% dos dias encontram-se fora da faixa de conforto térmico e pela ASHRAE Standard 55, os resultados são idênticos uma vez que se obtêm 87% dos dias fora da faixa de conforto.

### 6.2.2. Período de Arrefecimento

- Variação da temperatura ao longo do dia:

Nas Figuras 6.8 e 6.9, é possível observar a temperatura exterior e a temperatura média do ar na zona 1 e na zona 3, respetivamente. A variação da temperatura interior é diretamente influenciada pelo aumento ou diminuição da temperatura exterior. É de salientar que para o período de aquecimento a temperatura interior sofre um grande aumento quando comparado com a variação verificada na temperatura exterior. Este facto deve-se à inexistência de qualquer proteção nos vãos envidraçados e por conseguinte aos ganhos solares excessivos.

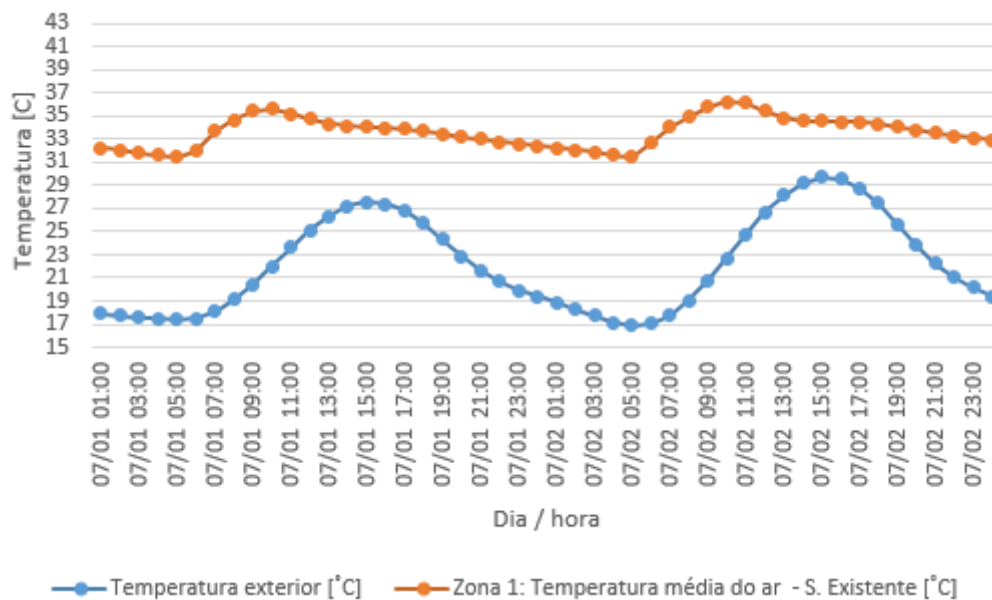


Figura 6.8 - Evolução das temperaturas exterior e média do ar da zona 1 nos dias 1 e 2 de julho



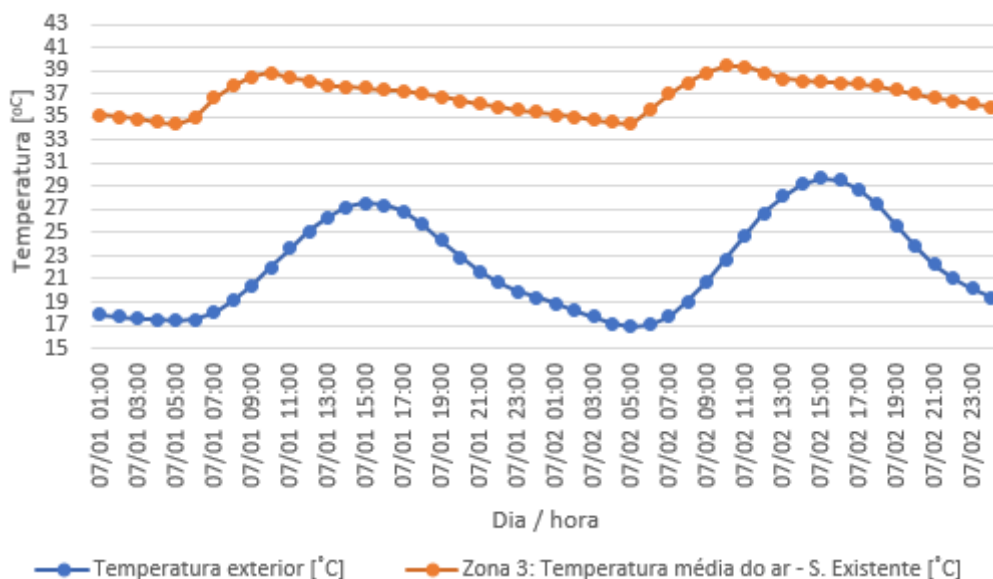


Figura 6.9 - Evolução das temperaturas exterior e média do ar da zona 3 nos dias 1 e 2 de julho

#### Verificação do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.10, relativa ao período de arrefecimento na zona 1, que em 81% dos dias não se verificam as condições de conforto térmico pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.11, que 94% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, e que 97% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%.

É possível observar, através da Figura 6.12, relativa ao período de arrefecimento na zona 3, que em 95% dos dias não se verificam as condições de conforto térmico pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.13, que 99% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80% e que 100% dos dias se encontra fora do limite de aceitabilidade de 90%.

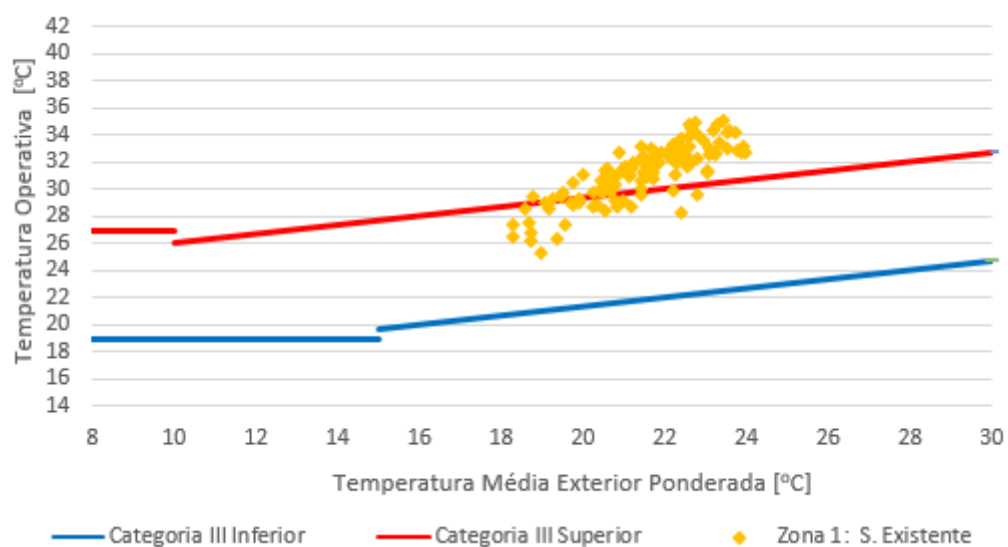


Figura 6.10 - Análise adaptativa para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251

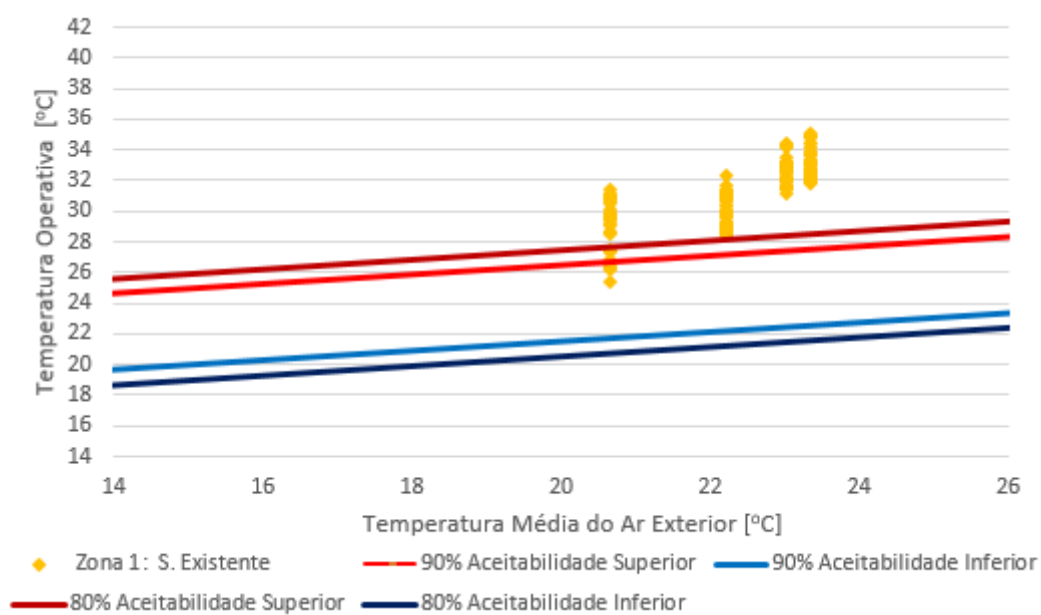


Figura 6.11 - Análise adaptativa para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

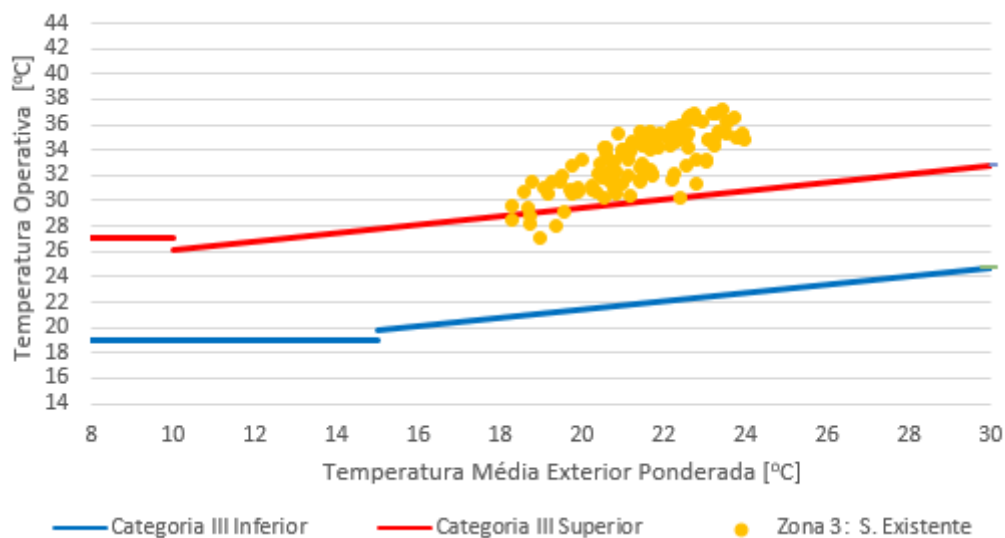


Figura 6.12 - Análise adaptativa para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251

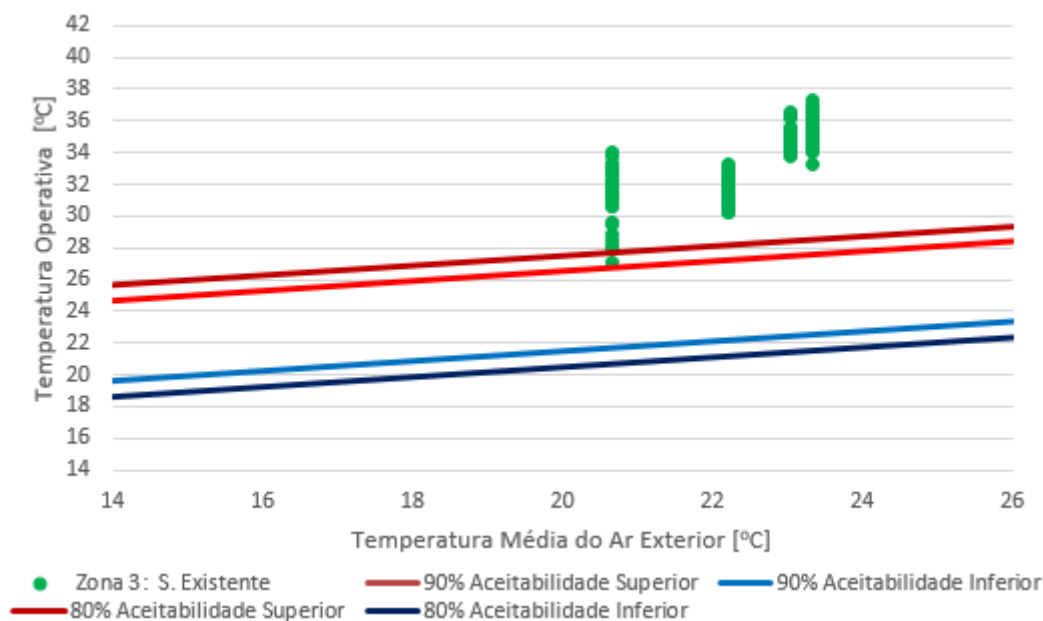


Figura 6.13 - Análise adaptativa para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

### Análise Comparativa entre os Questionários e os Modelos Adaptativos:

Os resultados obtidos através dos questionários indicam que 57% dos inquiridos sentem desconforto térmico neste período. Os modelos adaptativos são mais penalizadores do que os dados dos questionários: pela norma EN 15251, 81% dos dias encontram-se fora da faixa de conforto térmico, enquanto que pela ASHRAE Standard 55, 95% dos dias encontram-se fora da faixa de conforto térmico.

### 6.3. Soluções Analisadas

Com o objetivo de melhorar as condições de conforto térmico, foram realizadas diversas soluções tendo como base a solução existente, tais como: sombreamento dos vãos envidraçados com recurso a estores venezianos (tempo total, parcial, ou quando a temperatura interior atinge um determinado valor), colocação de isolamento térmico, melhoramento dos vãos envidraçados e ventilação noturna. Assim, foram realizadas análises comparativas entre a solução existente e as soluções simuladas, as quais se apresentam na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Definição das soluções consideradas para melhoramento térmico do edifício

Solução	Intervenção	Descrição
Existente	-	Solução Base (Edifício sem proteção dos vãos envidraçados)
1	Sombreamento	Estores venezianos de refletividade elevada, sempre ativos
2		Estores venezianos de refletividade elevada, ativos das 10-16h
3		Estores venezianos de refletividade elevada, ativos das 07-13h
4	Isolamento Térmico	4 cm de XPS (solução pelo exterior)
5		10 cm de XPS (solução pelo exterior)
6		15 cm de XPS (solução pelo exterior)
7	Ventilação	Ventilação no período de não ocupação
8	Vão envidraçado	Vão envidraçado melhorado

#### 6.3.1. Solução 1

Esta solução teve como objetivo estudar a influência que os ganhos solares têm sobre o comportamento térmico do edifício, visto que os quatro gabinetes “interiores” possuem um vão envidraçado que ocupa cerca de 38% da área total em contacto com o exterior e os dois gabinetes “exteriores” cerca de 13%. Por esta razão, realizou-se esta simulação com estores venezianos sempre ativos e com refletividade elevada.

##### 6.3.1.1. Período de Aquecimento

- Variação da temperatura ao longo do dia:

Nas Figuras 6.14 e 6.15, é possível observar a temperatura exterior e a temperatura média do ar na zona 1 e na zona 3, respetivamente. A variação da temperatura interior é bastante influenciada pelo bloqueio dos ganhos solares.

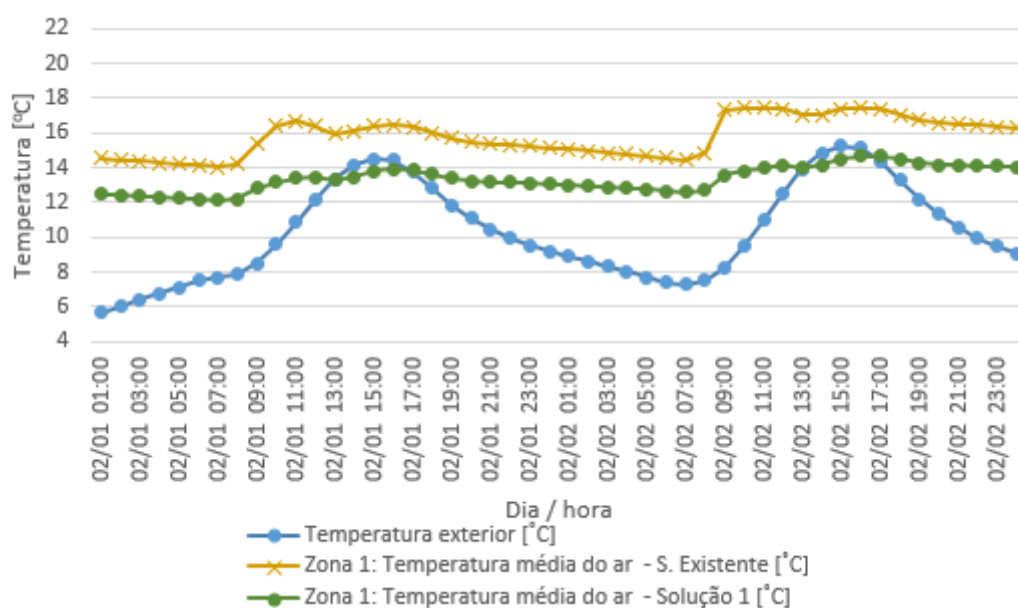


Figura 6.14 – Comparação da evolução das temperaturas exterior e média do ar na zona 1 nos dias 1 e 2 de fevereiro

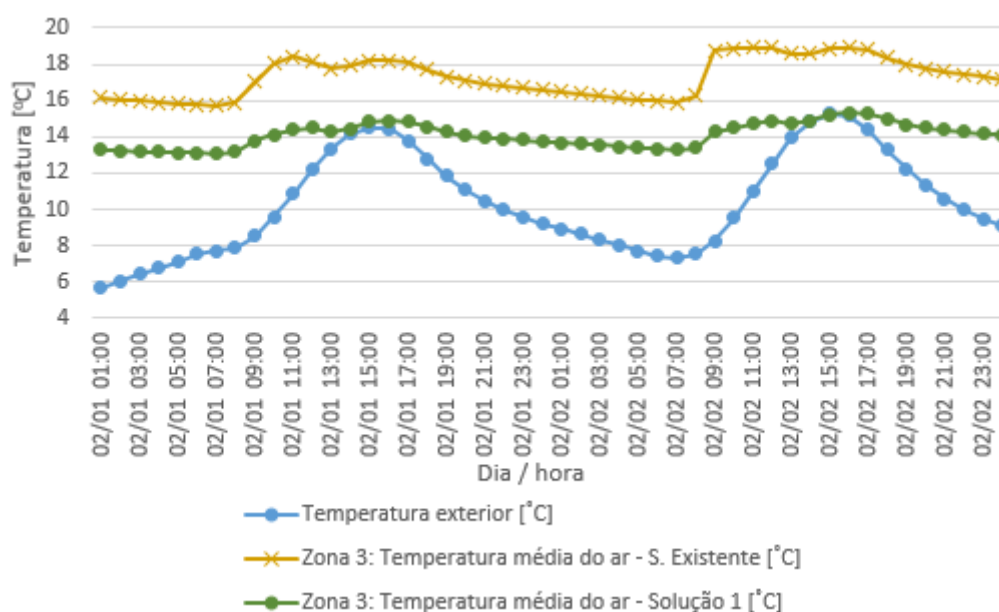


Figura 6.15 – Comparação da evolução das temperaturas exterior e média do ar na zona 3 nos dias 1 e 2 de fevereiro

#### Verificação do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.16, relativa ao período de aquecimento na zona 1, que em 99% dos dias não se verificam as condições de conforto térmico pela norma EN 15251.

Efetuada a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.17, que 99% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, e que 99% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%.

É possível observar, através da Figura 6.18, relativa ao período de aquecimento na zona 3, que em 100% dos dias não se verificam as condições de conforto térmico pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.19, que 99% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80% e que 100% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%.

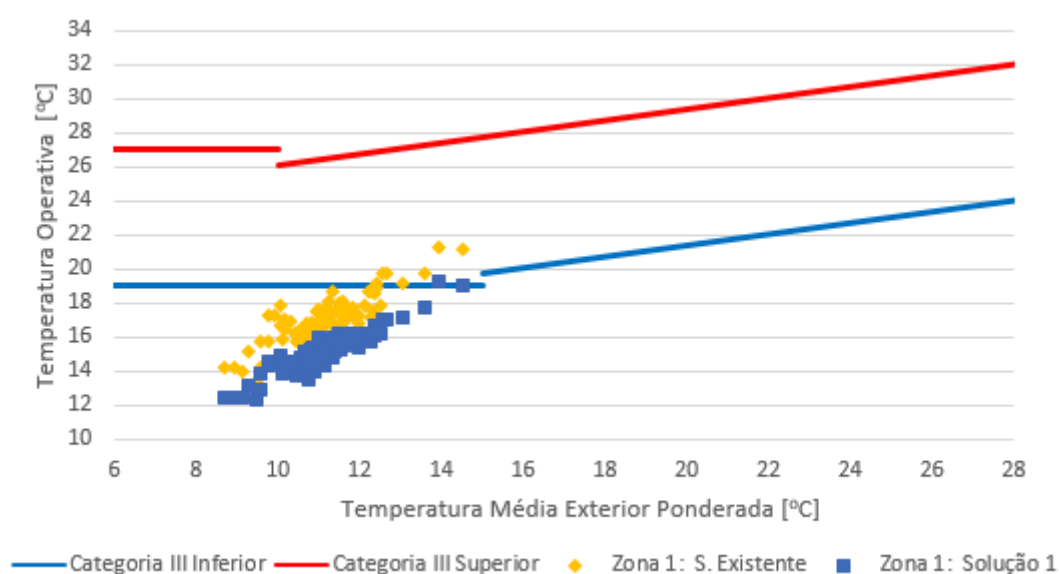


Figura 6.16 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 1 pela norma EN 15251

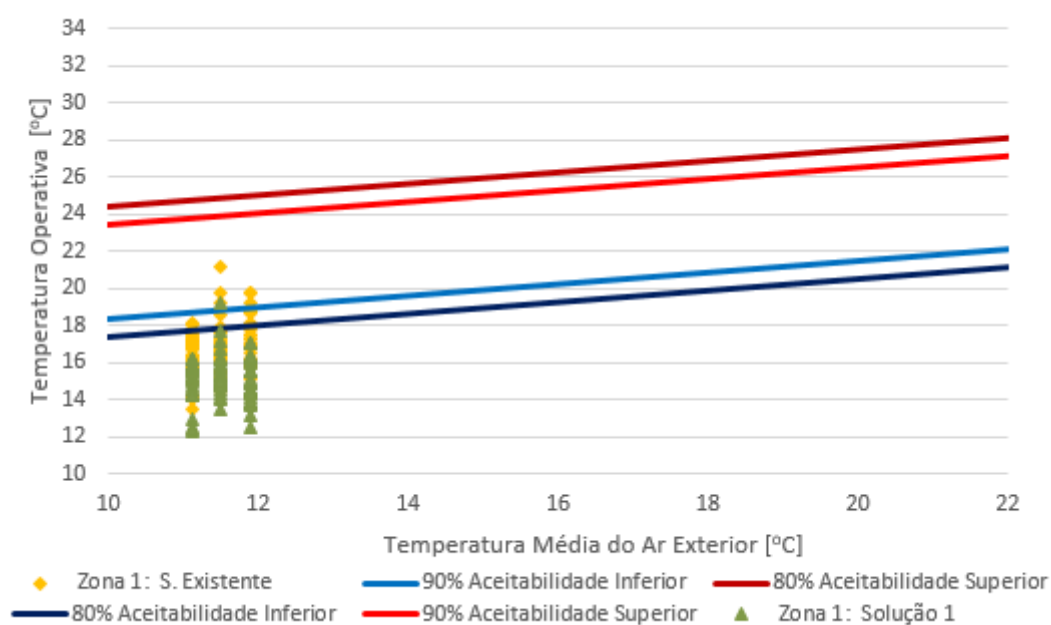


Figura 6.17 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

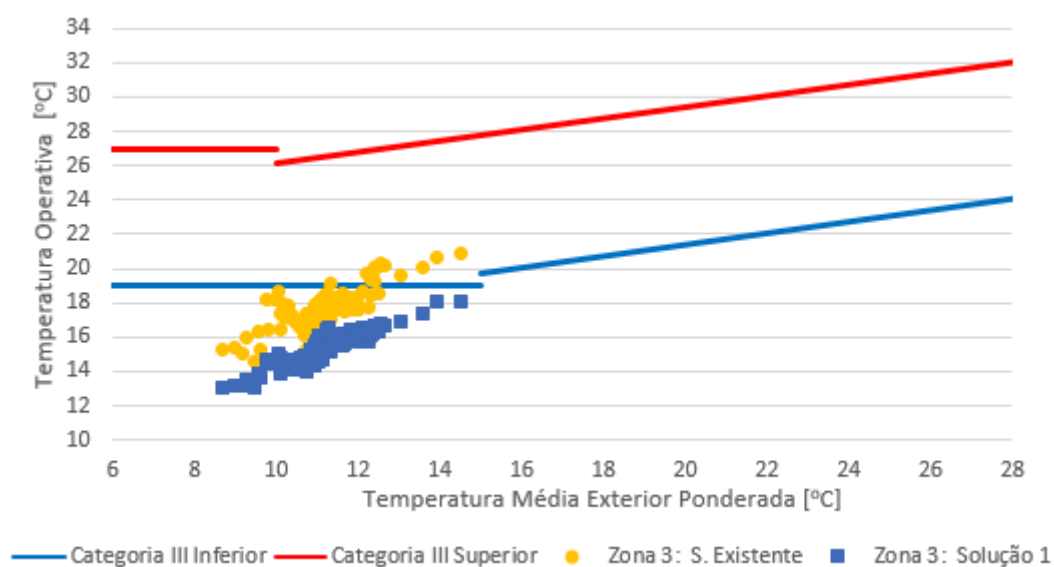


Figura 6.18 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 3 pela norma EN 15251

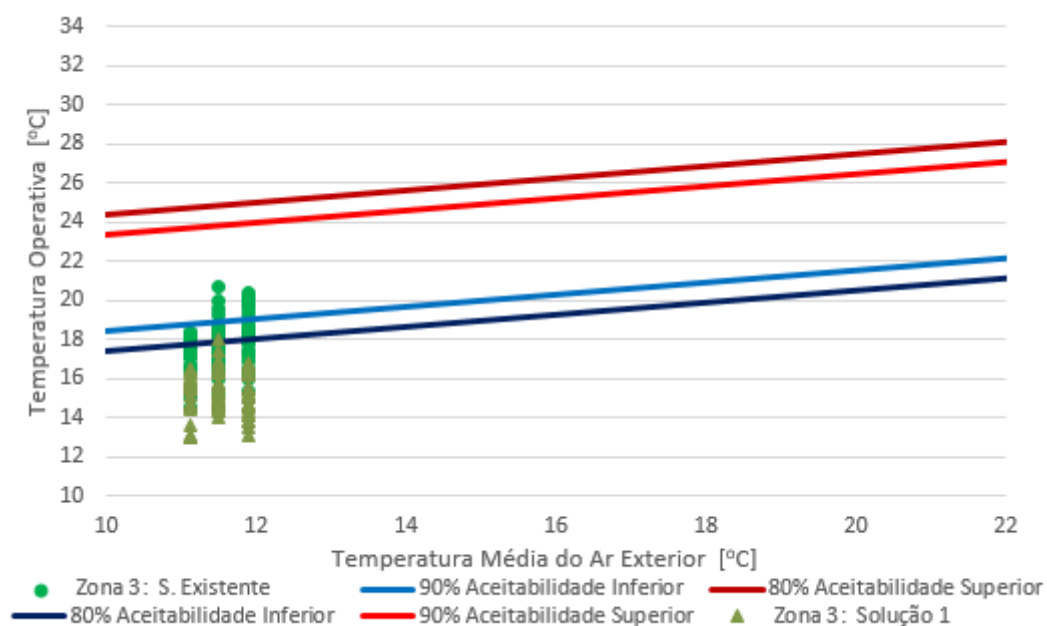


Figura 6.19 - Análise adaptativa para o período de aquecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

#### 6.3.1.1. Período de Arrefecimento

- Variação da temperatura ao longo do dia:

Nas Figuras 6.20 e 6.21, é possível comparar a diferença da temperatura interior entre a solução existente e a solução 1 para as zonas 1 e 3, respetivamente. Verifica-se que a temperatura interior diminuiu consideravelmente em ambas as zonas, confirmando-se a importância de reduzir os ganhos solares neste período.



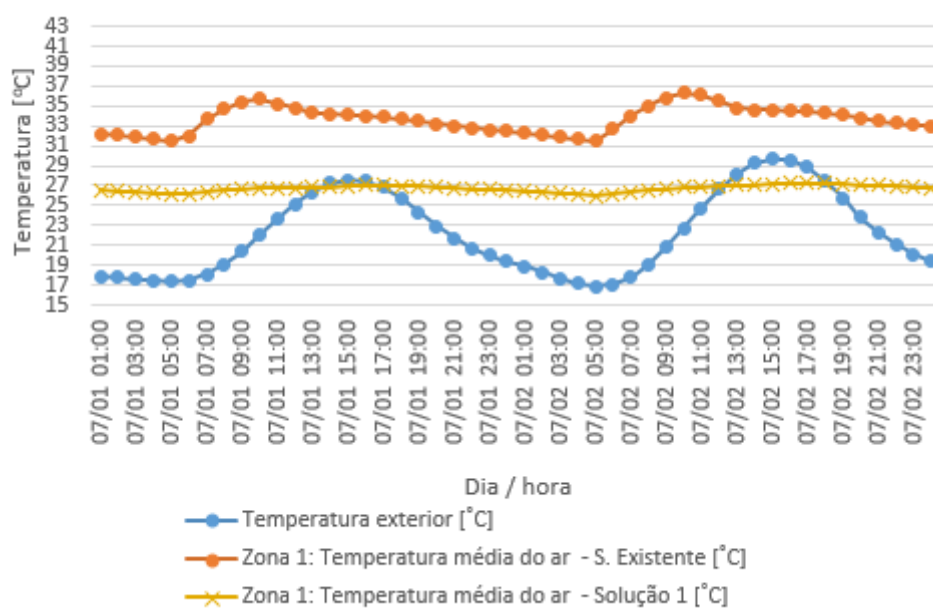


Figura 6.20 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 1 na zona 1 nos dias 1 e 2 de julho

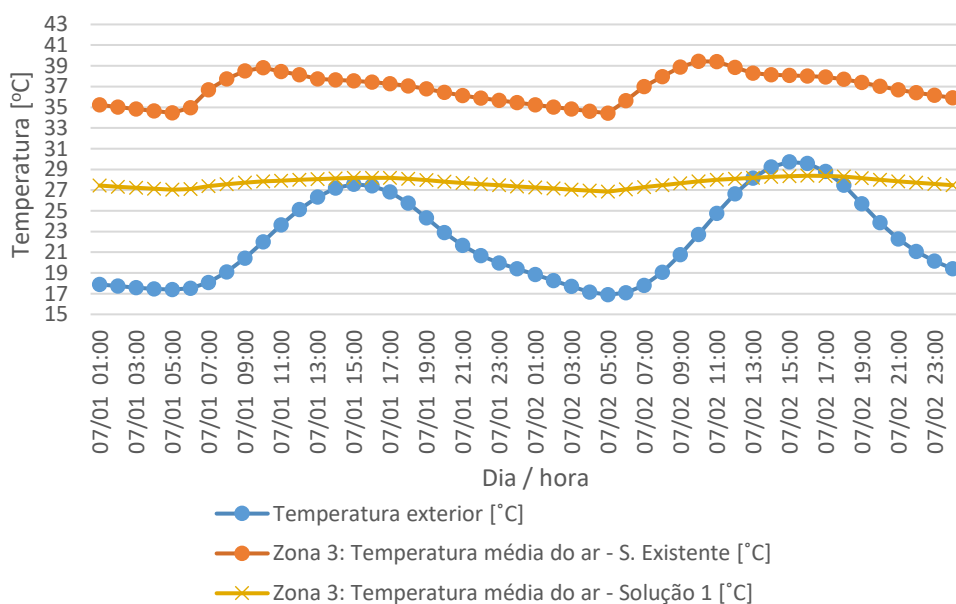


Figura 6.21 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 1 na zona 3 nos dias 1 e 2 de julho

### Verificação do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.22, relativa ao período de arrefecimento na zona 1, que em todos os dias as condições de conforto térmico são cumpridas pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura

6.23, que 10% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, e que 31% se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%.

É possível observar, através da Figura 6.24, relativa ao período de arrefecimento na zona 3, que em todos os dias as condições de conforto térmico são cumpridas pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.25, que 22% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80% e que 57% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%.

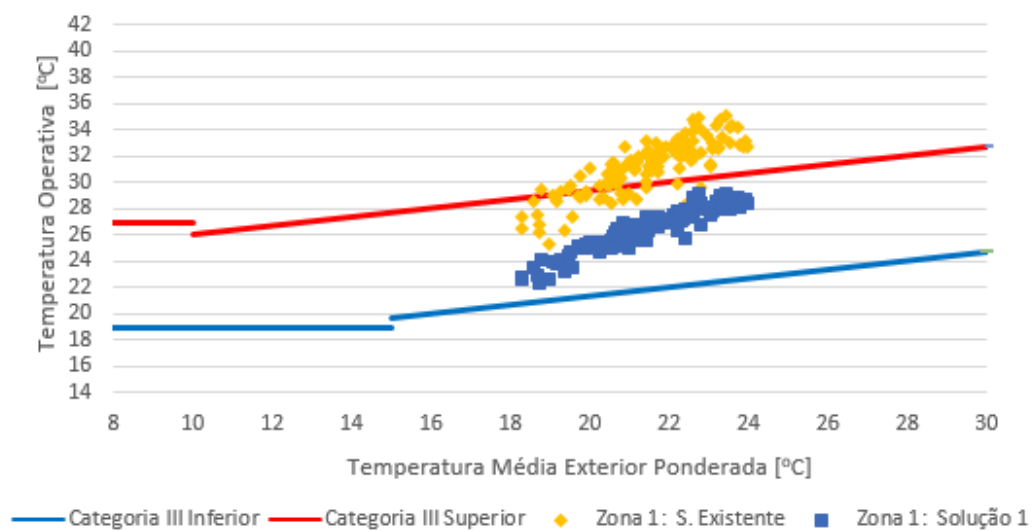


Figura 6.22 - Comparação da solução existente com a solução 1 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251

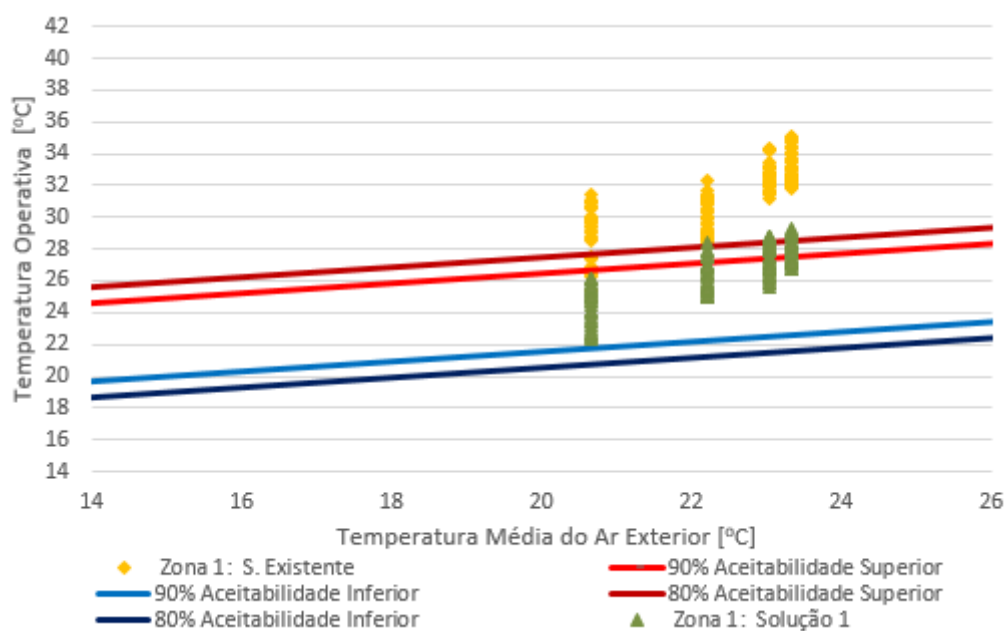


Figura 6.23 - Comparação da solução existente com a solução 1 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

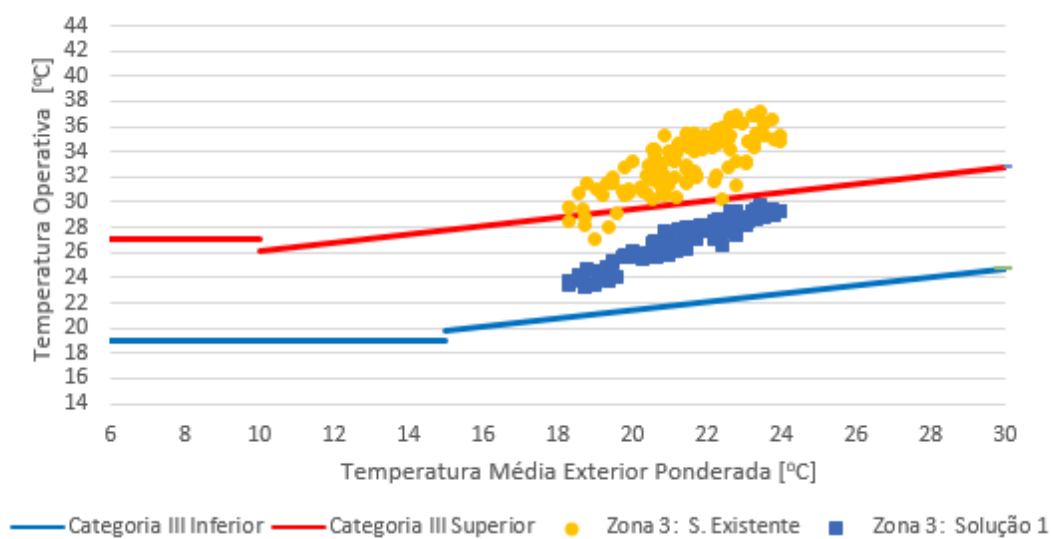


Figura 6.24 - Comparação da solução existente com a solução 1 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251

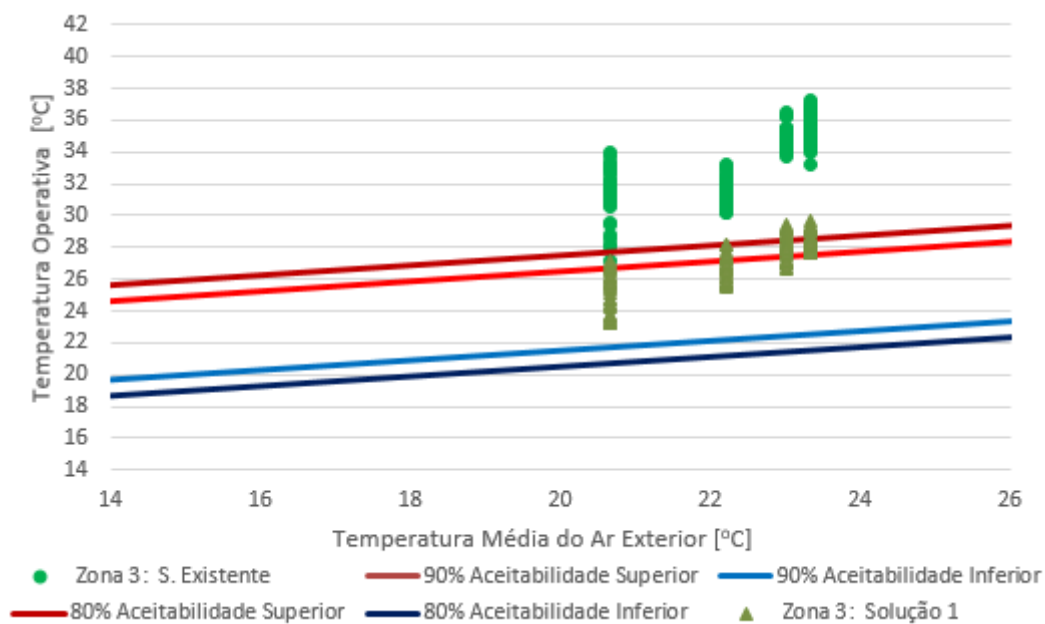


Figura 6.25 - Comparação da solução existente com a solução 1 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

### 6.3.2. Soluções 2 e 3

As soluções 2 e 3 incidem novamente sobre o sombreamento dos vãos envidraçados. Nestes casos foi considerado que o sombreamento se encontrava ativo entre as 10 e as 16 horas e entre as 7 e as 13 horas, respetivamente. Os resultados obtidos nestas soluções variam entre os resultados obtidos na solução existente e na solução 1. A solução 3 apresenta melhores valores de conforto térmico: por isso, optou-se por representar apenas esta solução.

#### 6.3.2.1. Período de Aquecimento

- Variação da temperatura ao longo do dia:

Nas Figuras 6.26 e 6.27, é possível observar a temperatura exterior e a temperatura média do ar na zona 1 e na zona 3, respetivamente. A variação da temperatura interior é diretamente influenciada pelo aumento ou diminuição da temperatura exterior, sendo que as temperaturas interiores se mantêm mais baixas devido ao controlo dos ganhos solares.

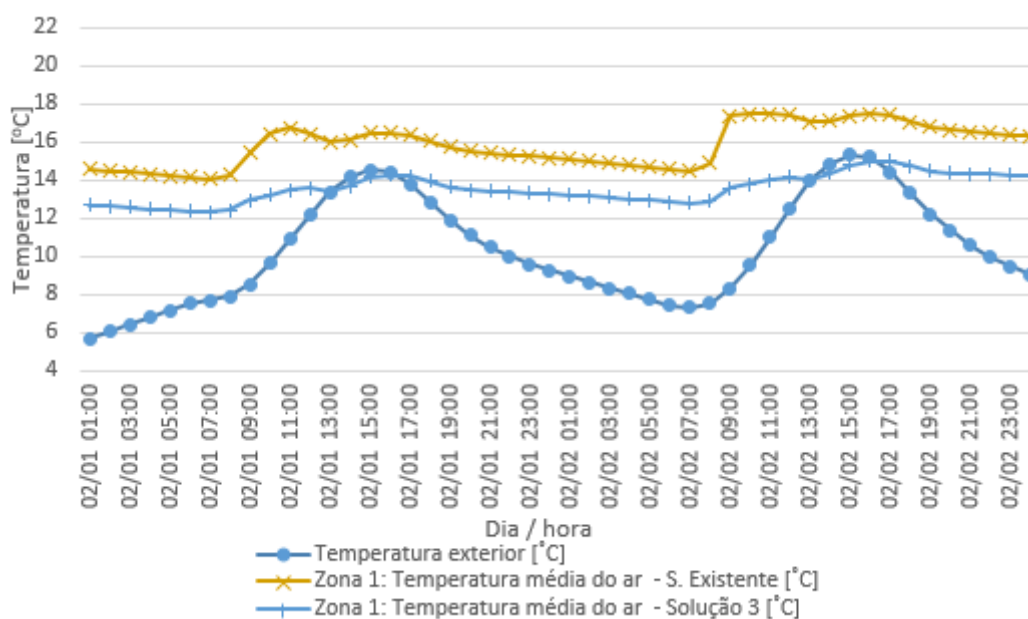


Figura 6.26 – Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 3 na zona 1 nos dias 1 e 2 de fevereiro

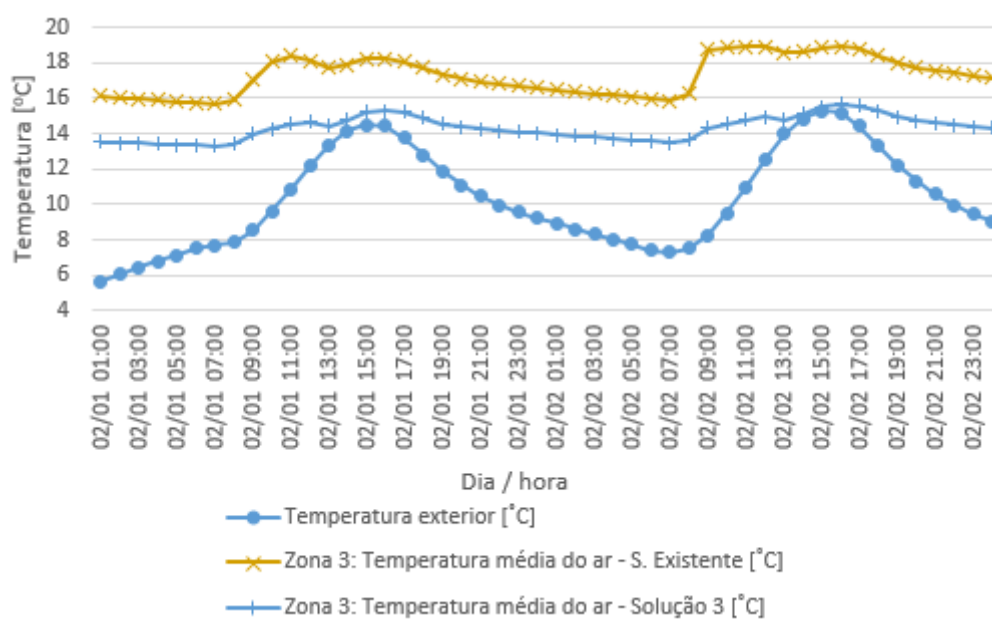


Figura 6.27 – Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 3 na zona 3 nos dias 1 e 2 de fevereiro

### Verificação do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.28, relativa ao período de aquecimento na zona 1, que em 99% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na

Figura 6.29, que 97% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, e que 99% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%.

É possível observar, através da Figura 6.30, relativa ao período de aquecimento na zona 3, que em 100 % dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.31, que 96% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80% e que 100% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%.

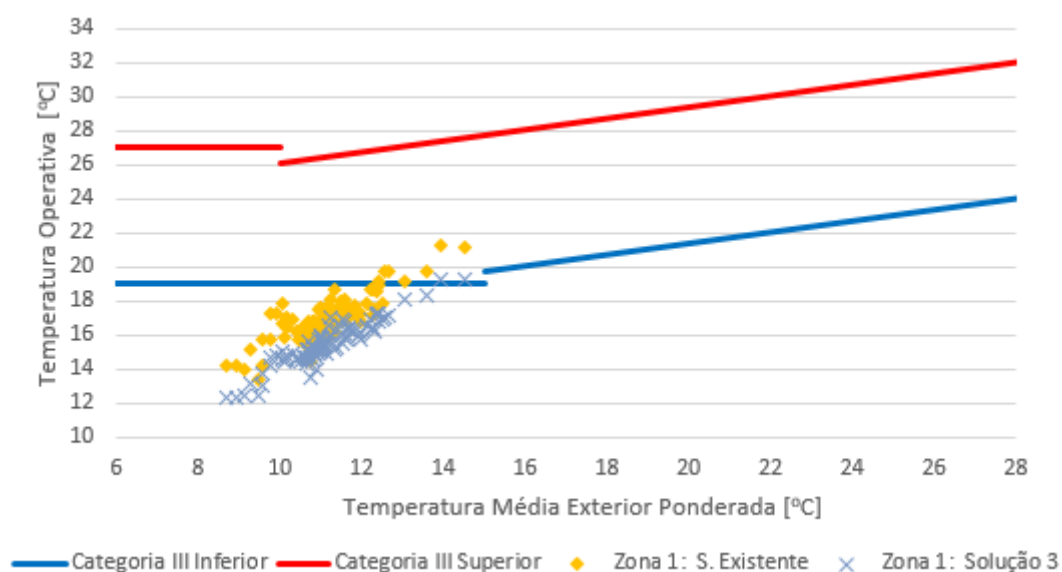


Figura 6.28 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma EN 15251

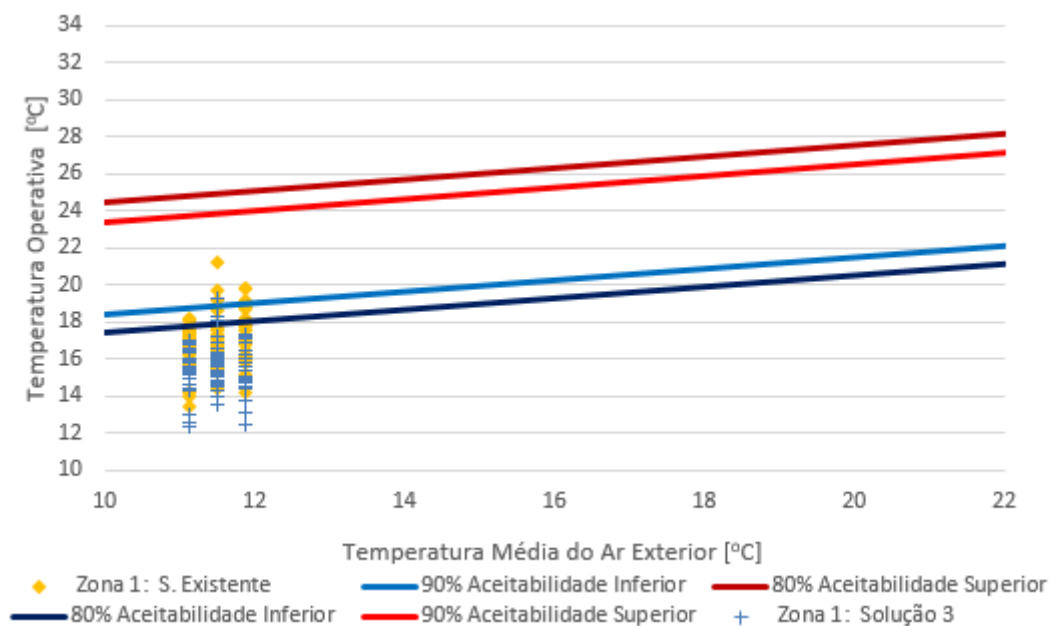


Figura 6.29 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

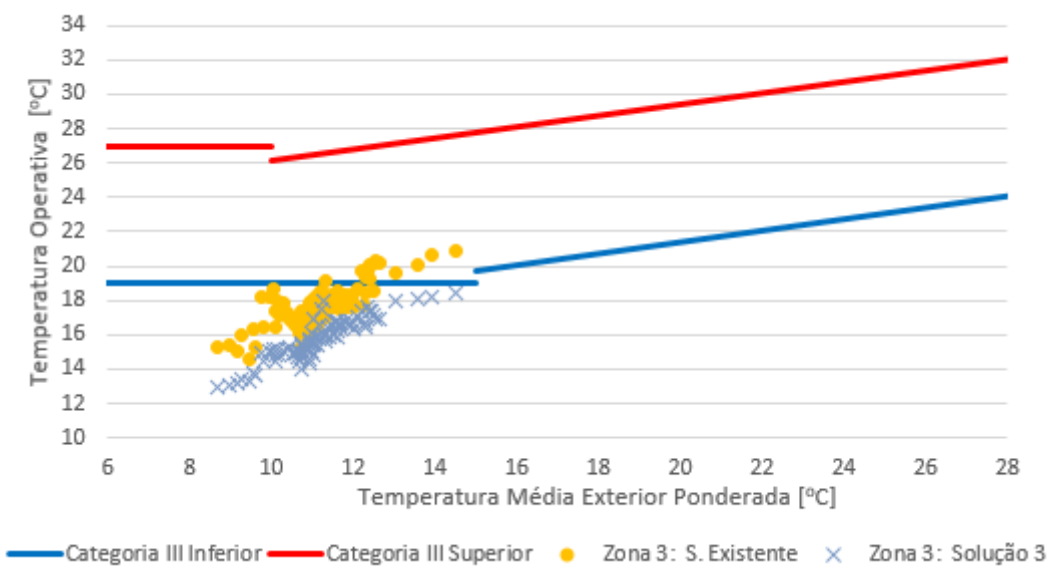


Figura 6.30 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma EN 15251

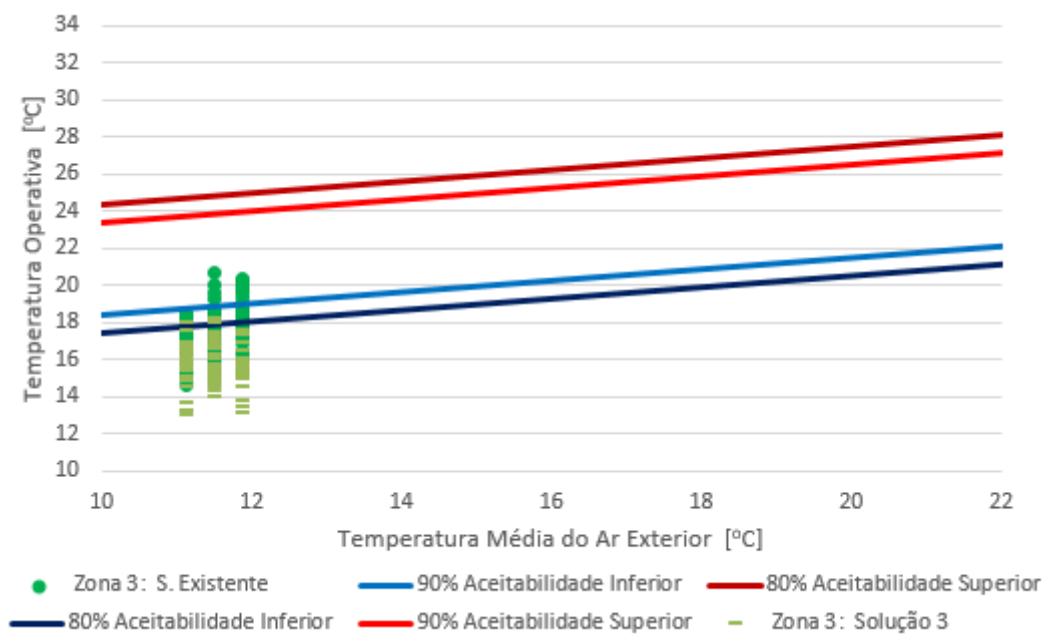


Figura 6.31 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

### 6.3.2.2. Período de Arrefecimento

- Variação da temperatura ao longo do dia:

Nas Figuras 6.32 e 6.33, é possível observar a temperatura exterior e a temperatura média do ar na zona 1 e na zona 3, respetivamente. A variação da temperatura interior é diretamente influenciada pelo controlo dos ganhos solares.



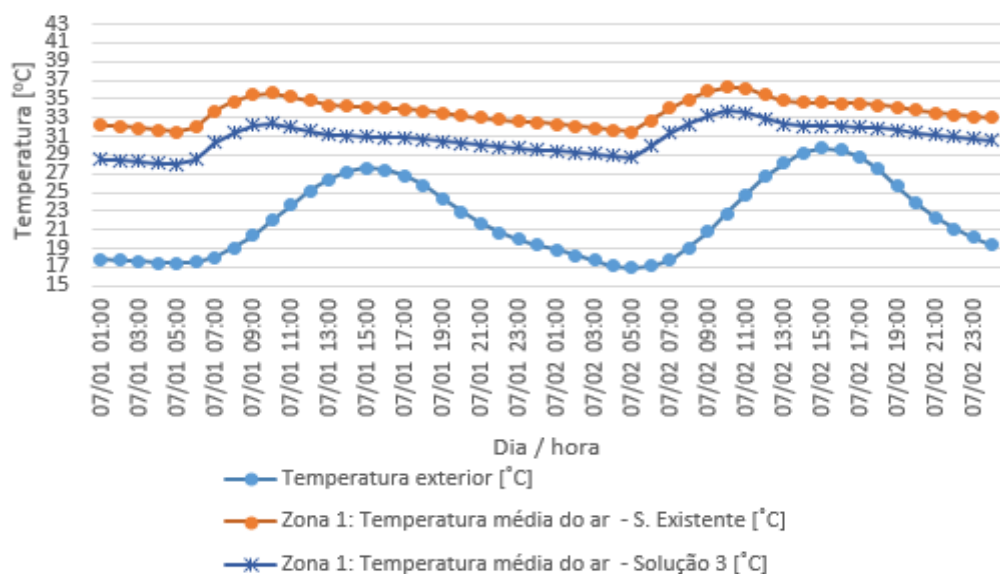


Figura 6.32 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 3 na zona 1 nos dias 1 e 2 de julho

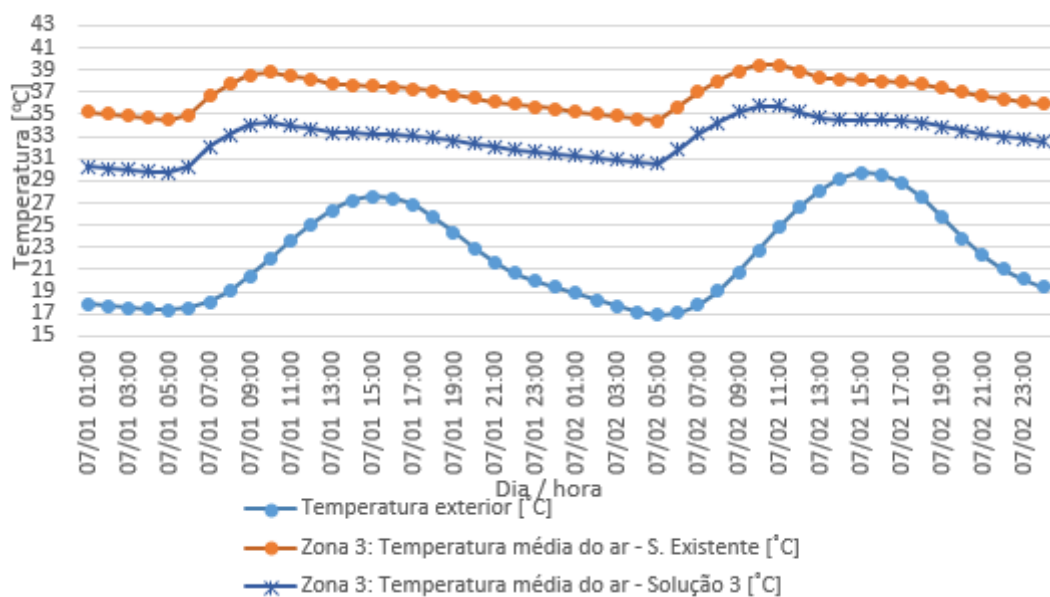


Figura 6.33 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 3 na zona 1 nos dias 1 e 2 de julho

### Verificação do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.34, relativa ao período de arrefecimento na zona 1, que em 20% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN

15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.35, que 61% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, e que 80% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%.

É possível observar, através da Figura 6.36, relativa ao período de arrefecimento na zona 3, que em 49% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.37, que 80% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80% e que 92% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%.

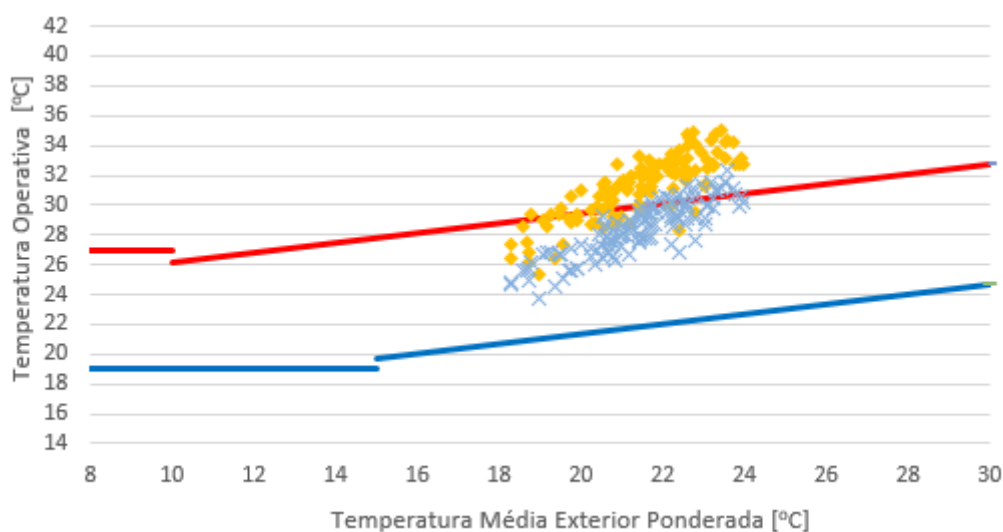


Figura 6.34 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251

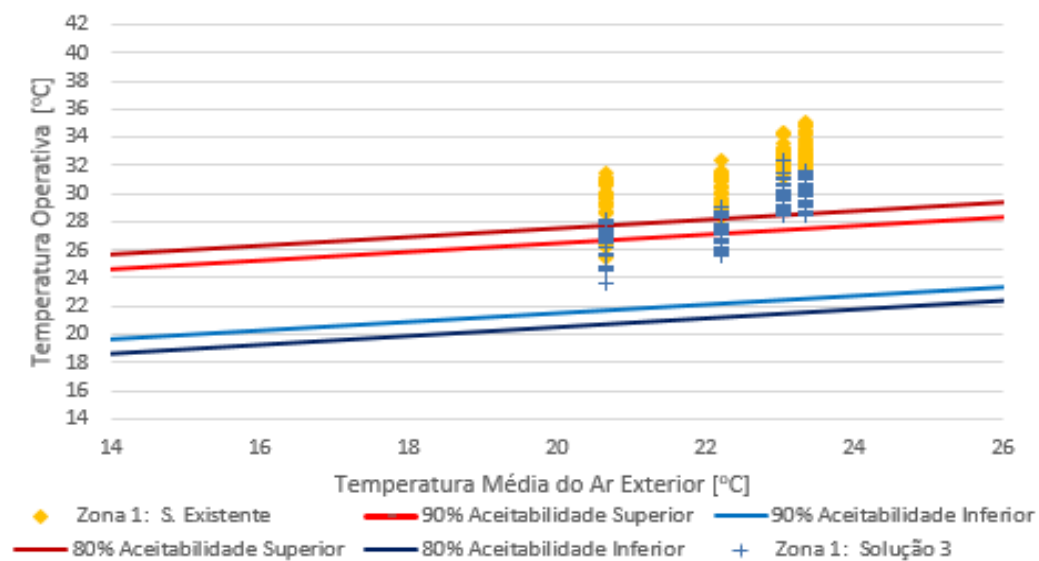


Figura 6.35 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

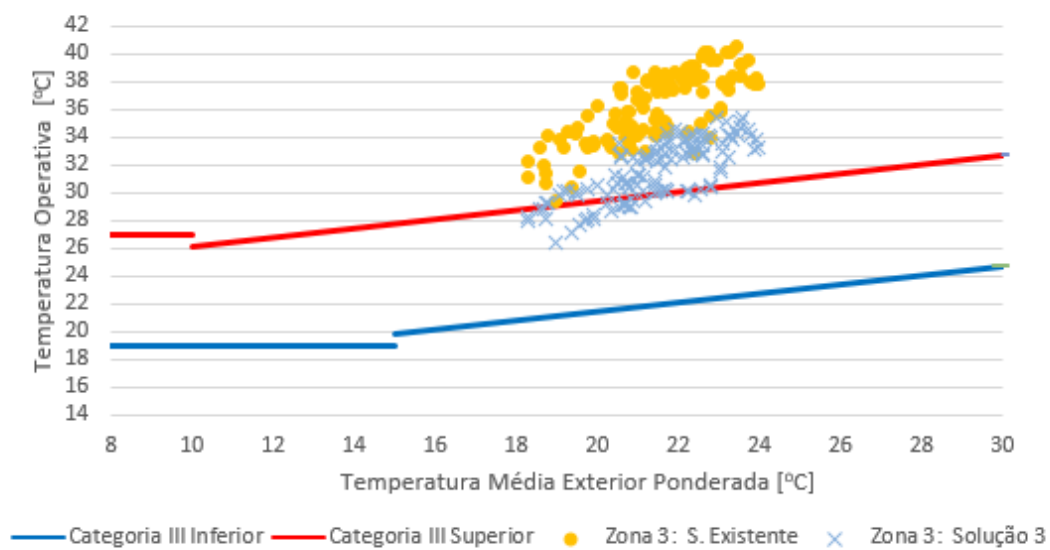


Figura 6.36 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251

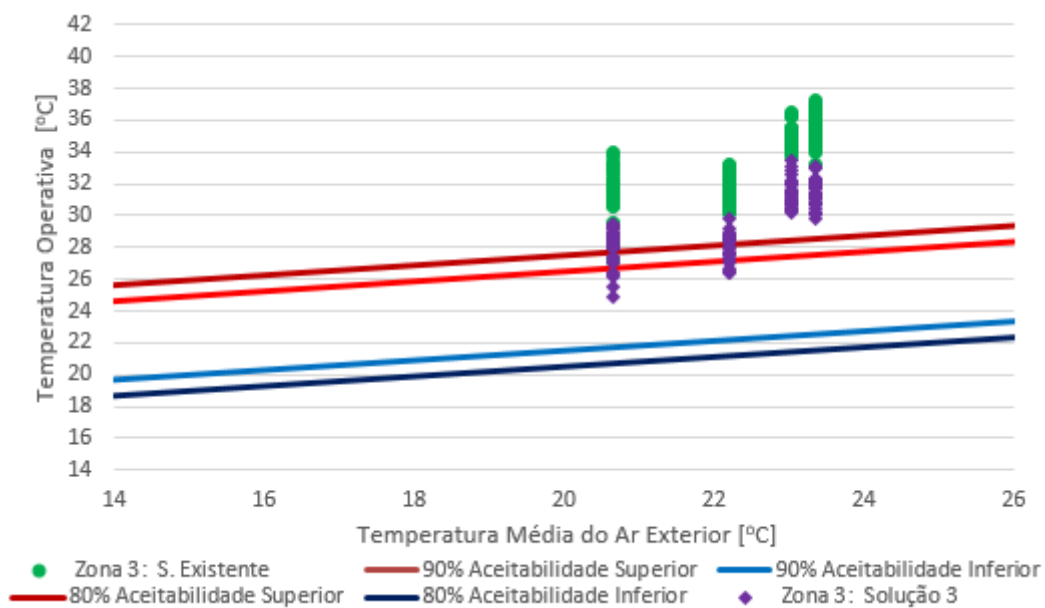


Figura 6.37 - Comparação da solução existente com a solução 3 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

### 6.3.3. Soluções 4, 5 e 6

Estas soluções tiveram como objetivo perceber a influência do isolamento térmico no comportamento dos gabinetes, ou seja, estudar a influência da espessura do isolamento térmico relativamente às temperaturas interiores. Foram considerados isolamentos com espessuras de 4, 10 e 15 centímetros, respetivamente. Abaixo, são apresentados os resultados relativos à solução existente e às soluções 4 e 6.

#### 6.3.3.1. Período de Aquecimento

- Variação da temperatura ao longo do dia:

Nas Figuras 6.38 e 6.39, é possível observar a temperatura exterior e a temperatura média do ar para as soluções 4 e 6 na zona 1 e na zona 3, respetivamente. Como se pode observar, a colocação de isolamento térmico faz com que as temperaturas interiores aumentem.

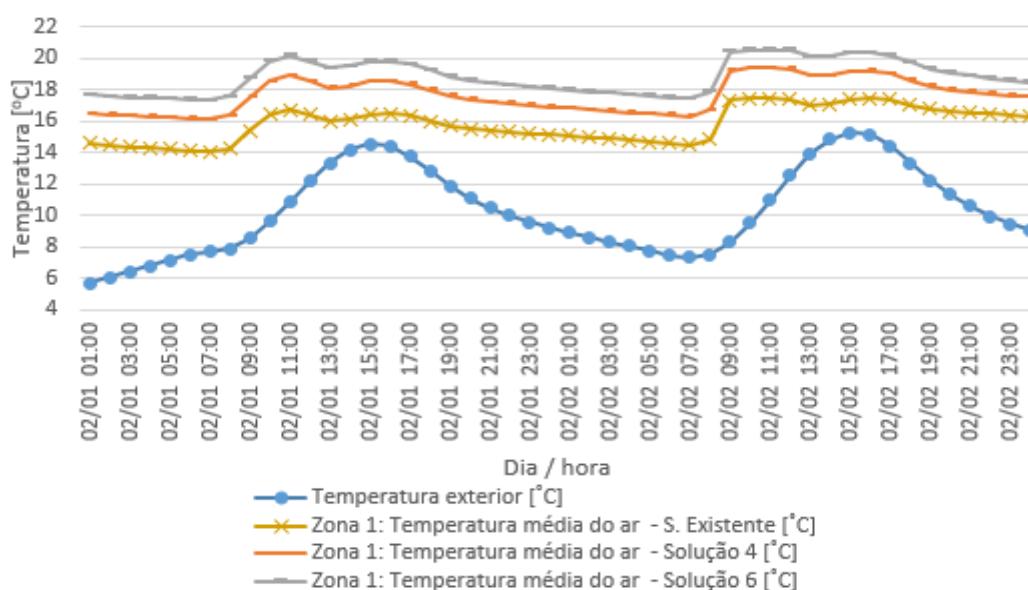


Figura 6.38 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e as soluções 4 e 6 na zona 1 nos dias 1 e 2 de fevereiro

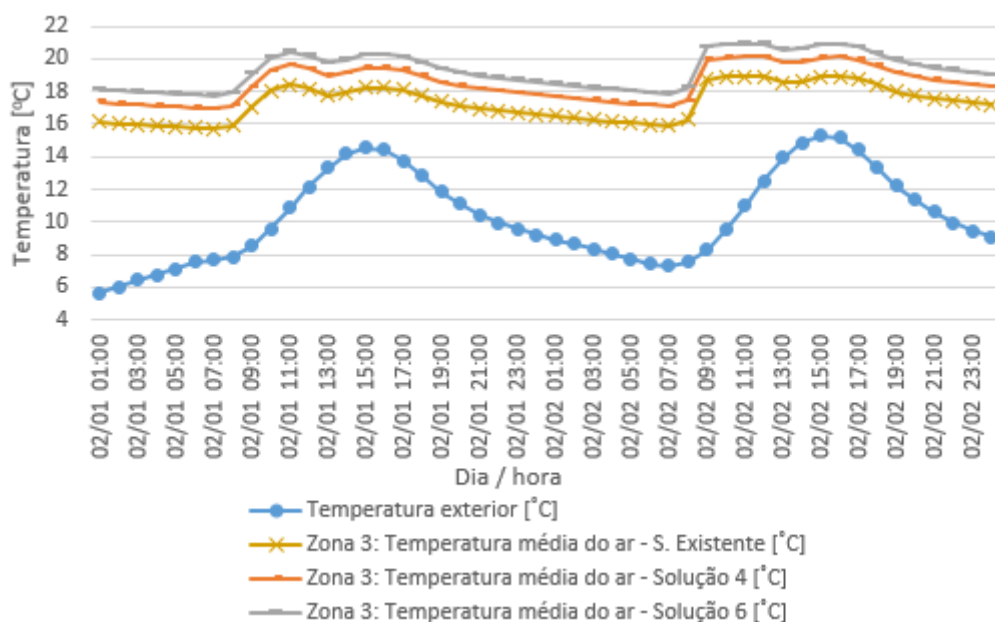


Figura 6.39 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e as soluções 4 e 6 na zona 3 nos dias 1 e 2 de fevereiro

### Verificação do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.40, relativa ao período de aquecimento na zona 1, que em 88% e 77% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma

EN 15251, para as soluções 4 e 6, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.41, que 61% e 31% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, e que 88% e 73% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as soluções 4 e 6, respetivamente.

É possível observar, através da Figura 6.42, relativa ao período de aquecimento na zona 3, que em 83% e 69% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as soluções 4 e 6, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.43 que 40% e 27% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, e que 78% e 59% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as soluções 4 e 6, respetivamente.

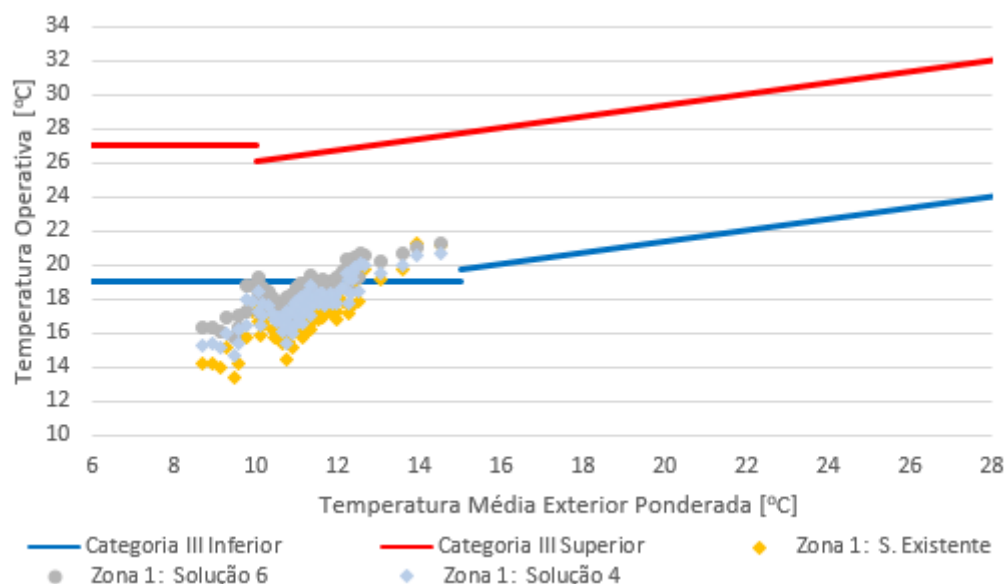


Figura 6.40 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma EN 15251

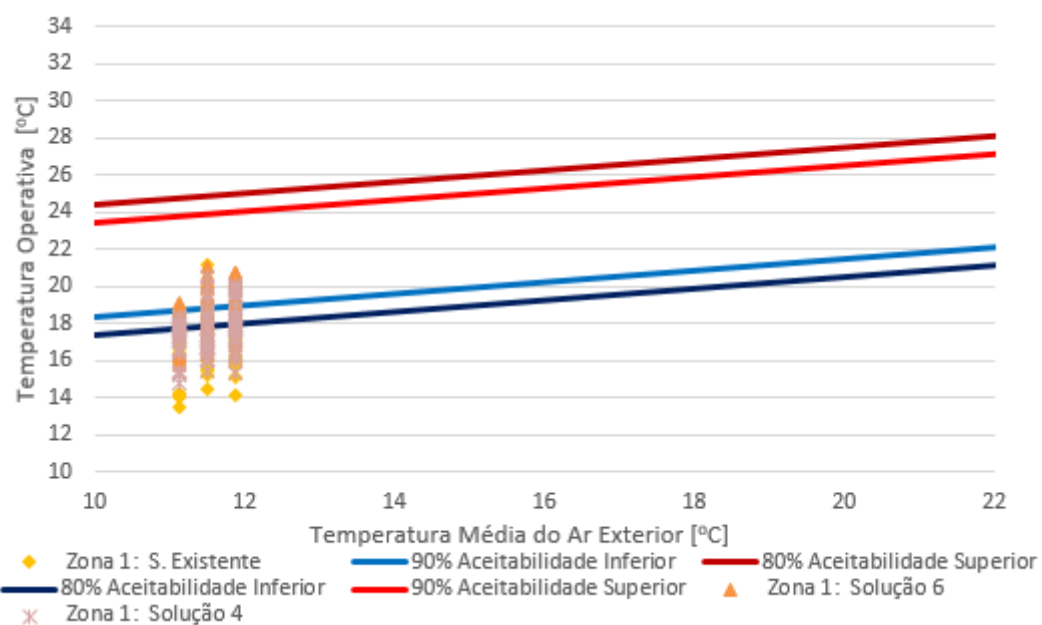


Figura 6.41 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

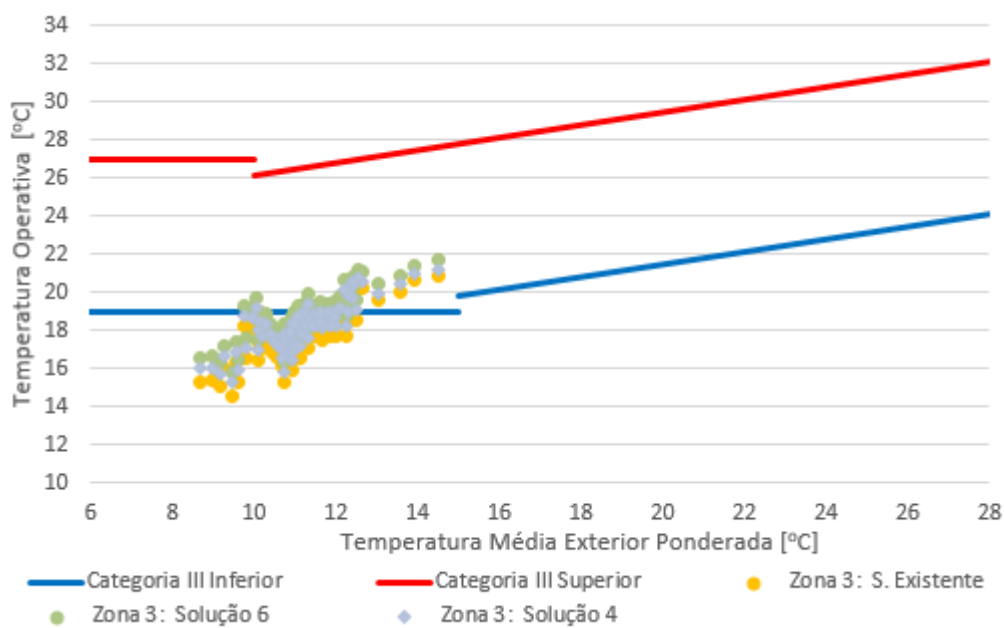


Figura 6.42 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma EN 15251

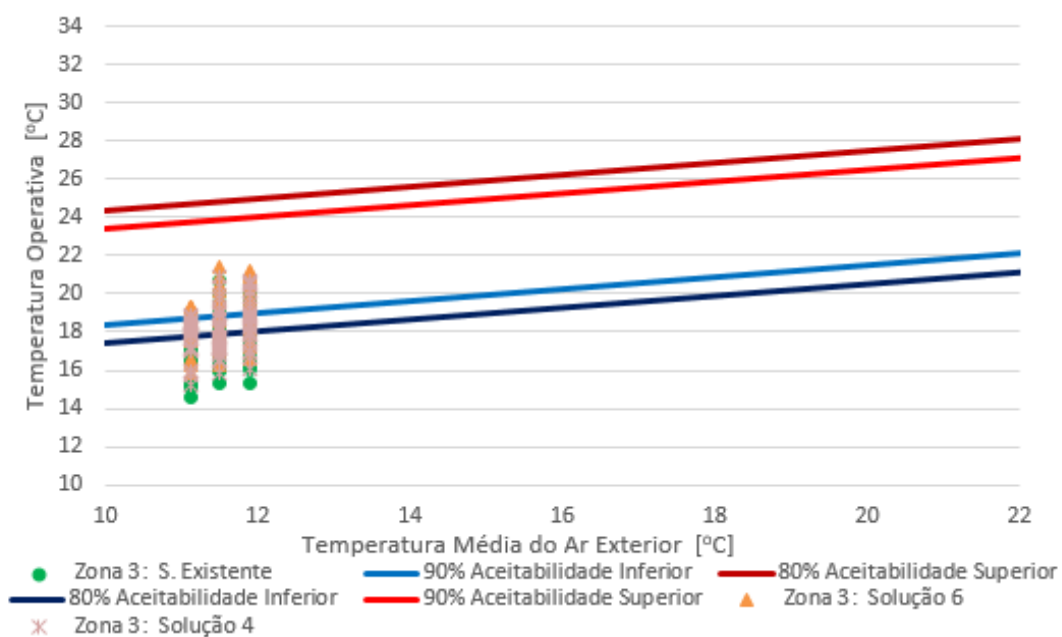


Figura 6.43 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

### 6.3.3.2. Período de Arrefecimento

- Variação da temperatura ao longo do dia:

Nas Figuras 6.44 e 6.45, é possível observar a temperatura exterior e a temperatura média do ar para as soluções 4 e 6 na zona 1 e na zona 3, respetivamente. Como se pode observar, a colocação de isolamento térmico faz com que as temperaturas interiores aumentem significativamente em relação à solução existente.



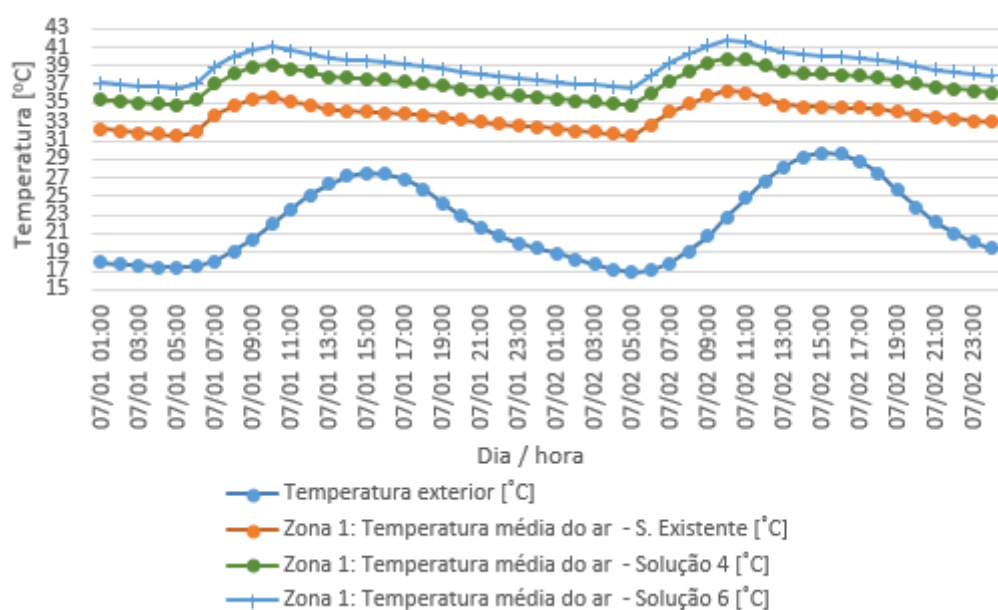


Figura 6.44 – Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e as soluções 4 e 6 na zona 1 nos dias 1 e 2 de julho

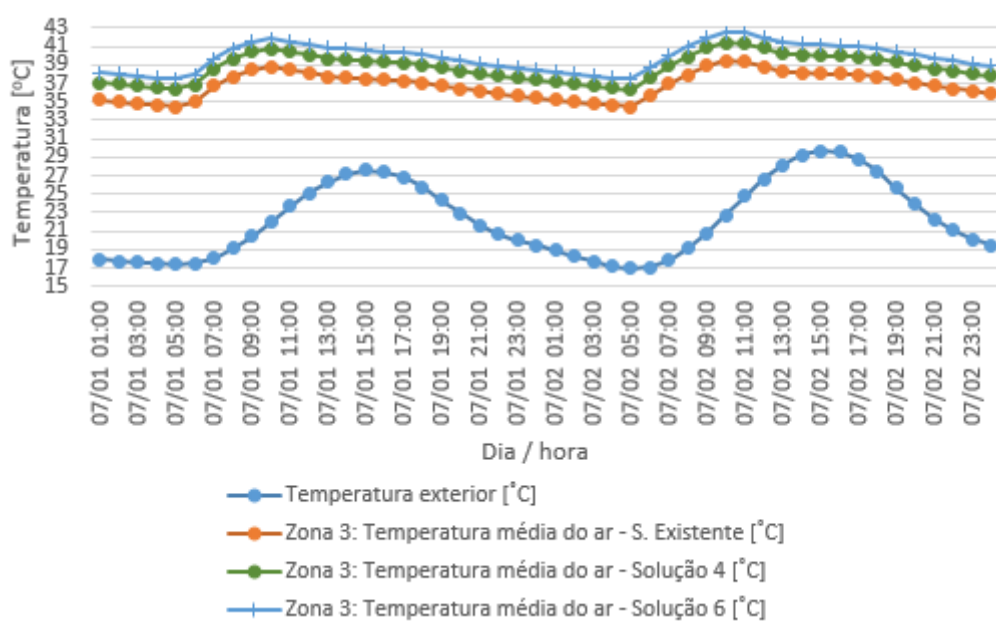


Figura 6.45 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e as soluções 4 e 6 na zona 3 nos dias 1 e 2 de julho

### Verificação do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.46, relativa ao período de arrefecimento na zona 1, que em 96% e 99% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as soluções 4 e 6, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.47, que 99% e 100% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, para as soluções 4 e 6, respetivamente. Pode também verificar-se que 100% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90% para ambas as soluções.

É possível observar, através da Figura 6.48, relativa ao período de arrefecimento na zona 3, que em 98% e 99% dos dias não são verificadas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as soluções 4 e 6, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.49, que 100% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80% e fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as soluções 4 e 6, respetivamente.

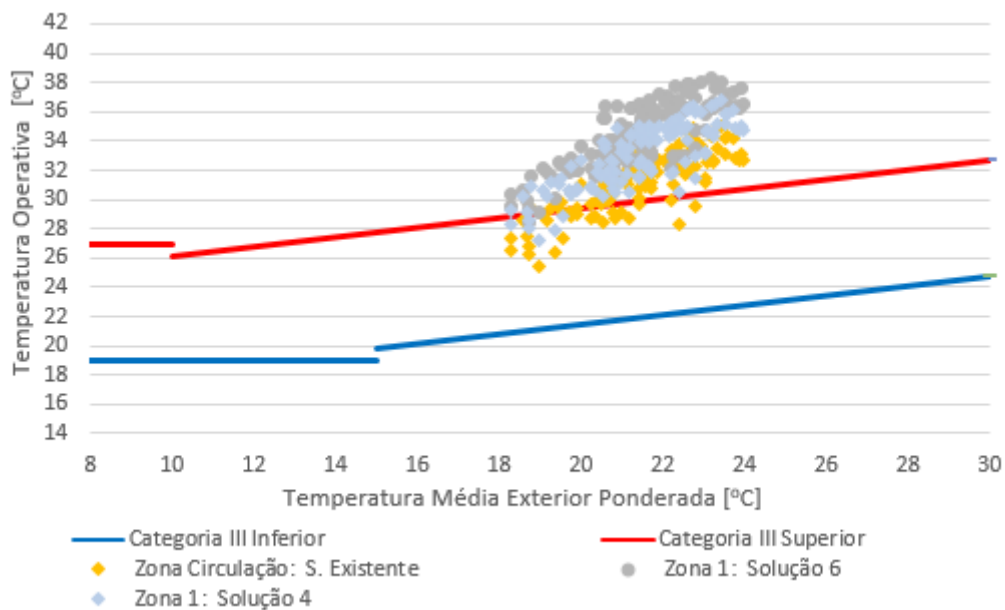


Figura 6.46 – Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251

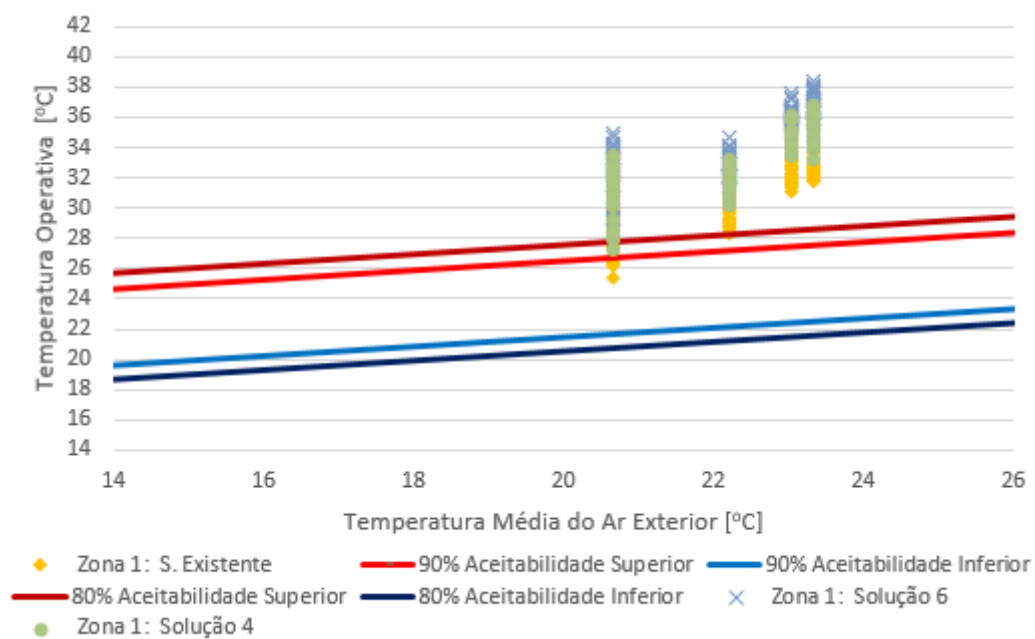


Figura 6.47 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

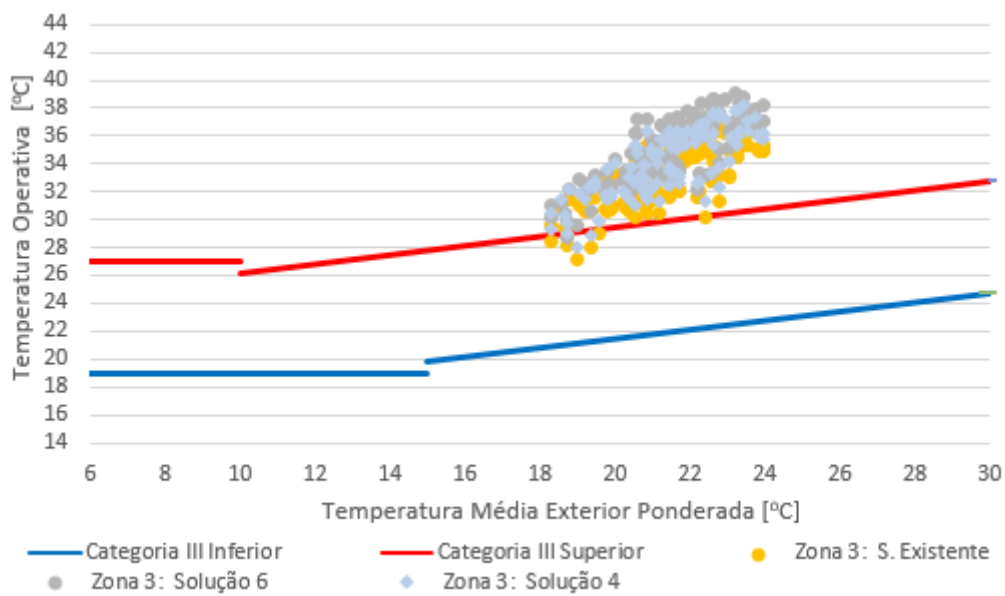


Figura 6.48 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251

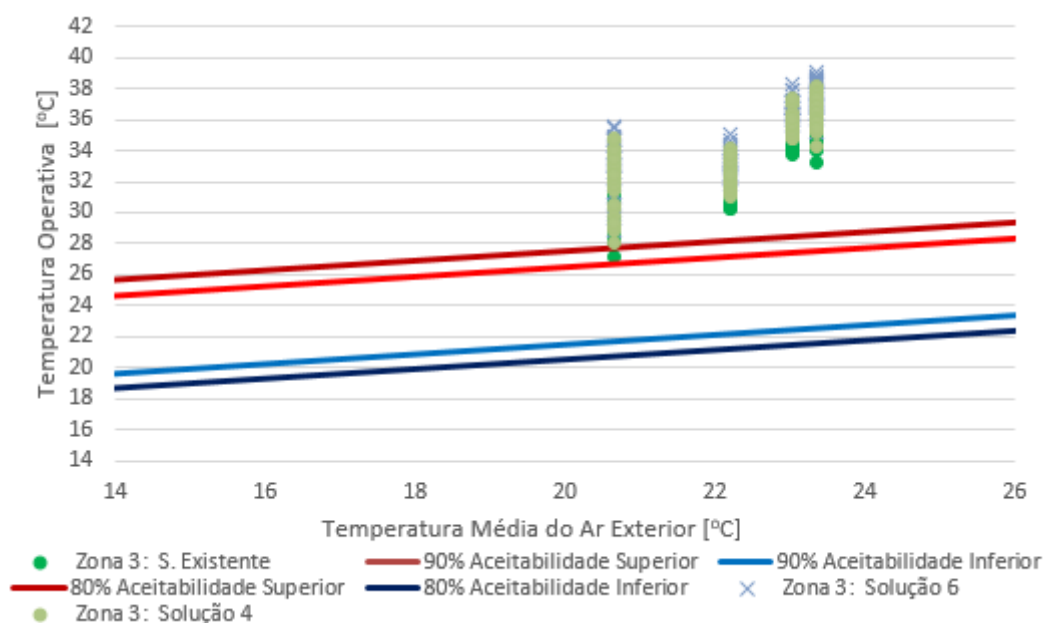


Figura 6.49 - Comparação da solução existente com as soluções 4 e 6 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

#### 6.3.4. Solução 7

Esta solução teve como objetivo estudar a influência da ventilação natural dos espaços nas temperaturas interiores no período de arrefecimento. O período de não utilização considerado encontra-se compreendido entre as 20 horas da noite e as 8 horas da manhã do dia seguinte.

##### 6.3.4.1. Período de Arrefecimento

- Variação da temperatura ao longo do dia:

Através da análise das Figuras 6.50 e 6.51, é possível comparar a temperatura interior da solução existente e da solução 7 para as zonas 1 e 3, respetivamente. Verifica-se que a temperatura interior diminuiu consideravelmente em relação à solução existente, o que demonstra que esta é uma boa solução para diminuir as temperaturas no edifício no período de arrefecimento.

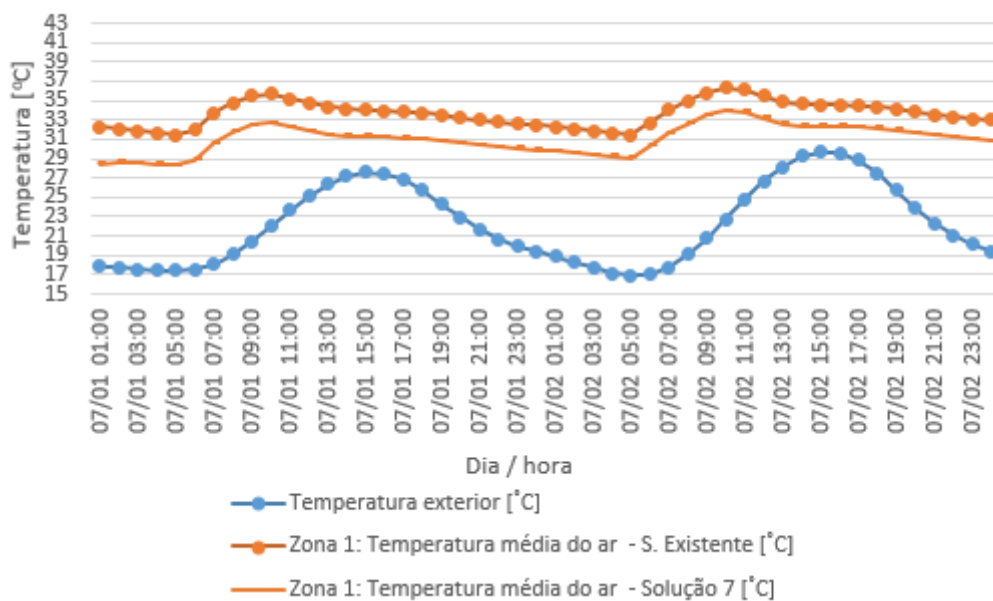


Figura 6.50 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 7 na zona 1 nos dias 1 e 2 de julho

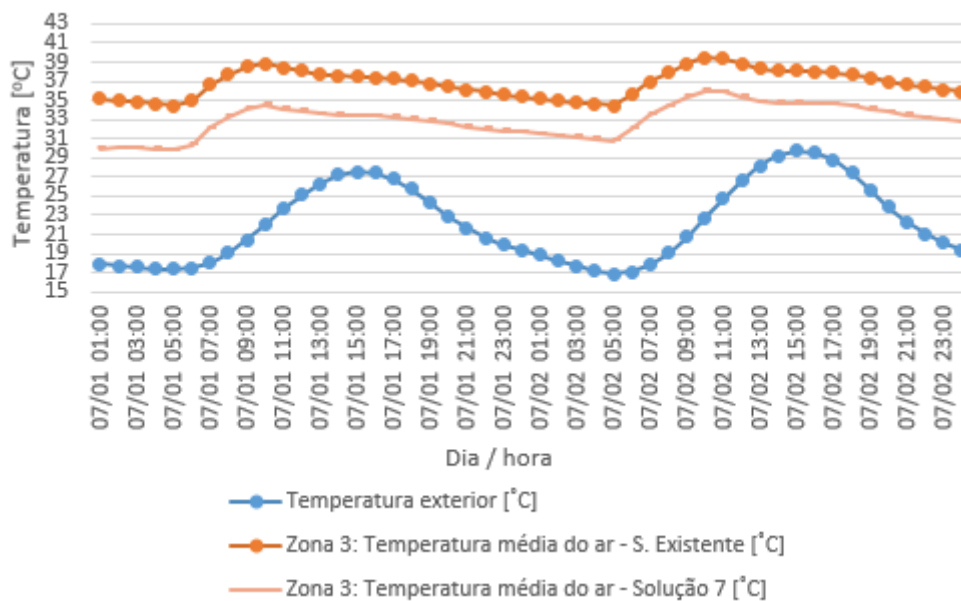


Figura 6.51 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 7 na zona 3 nos dias 1 e 2 de julho

#### Verificação do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.52, relativa ao período de arrefecimento na zona 1, que em 22% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN

15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.53, que 61% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, e que 84% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%.

É possível observar, através da Figura 6.54, relativa ao período de arrefecimento na zona 3, que em 47% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.55 que 84% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80% e que 92% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%.

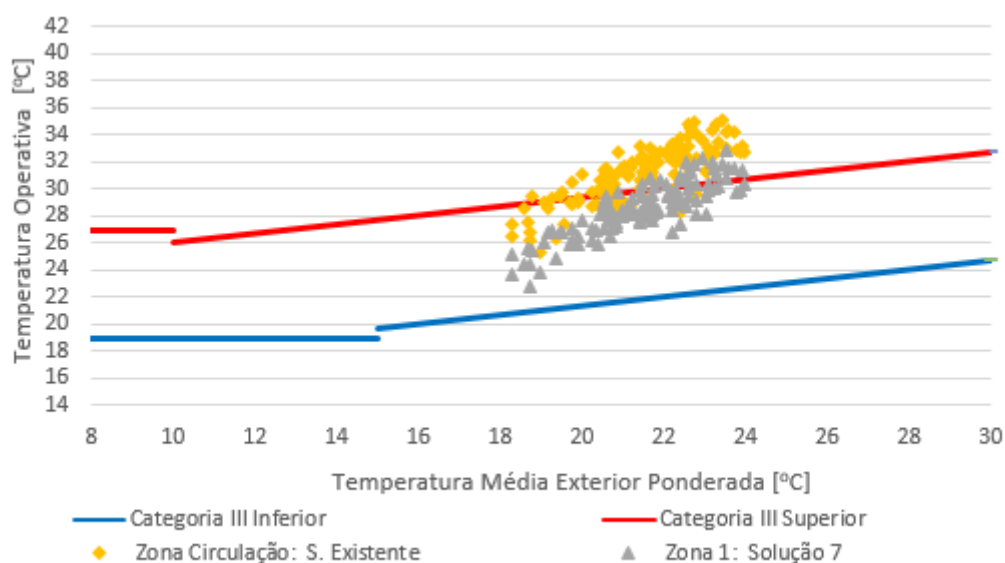


Figura 6.52 – Comparação da solução existente com a solução 7 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251

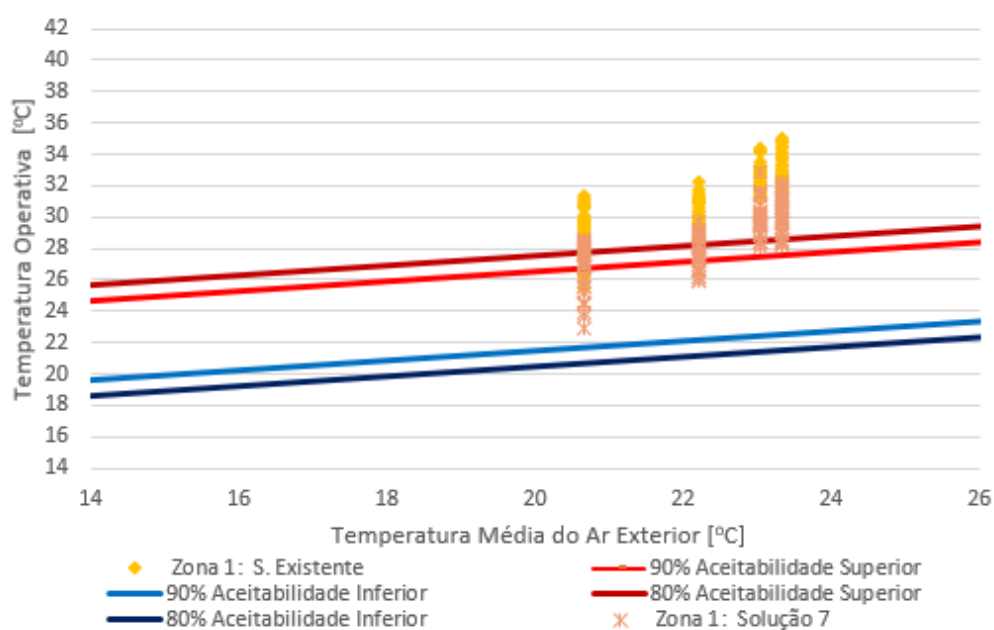


Figura 6.53 - Comparação da solução existente com a solução 7 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

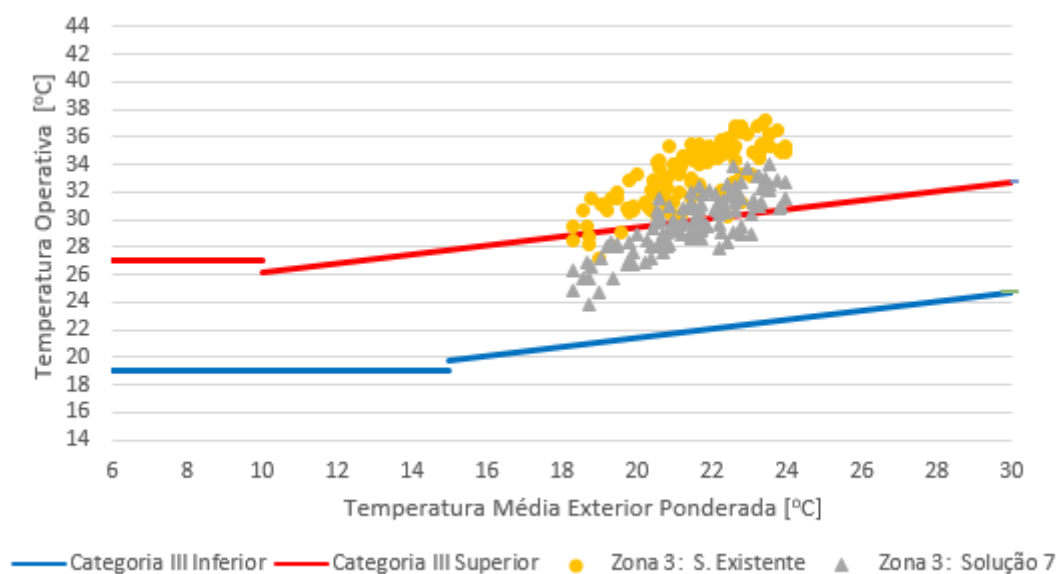


Figura 6.54 – Comparação da solução existente com a solução 7 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251

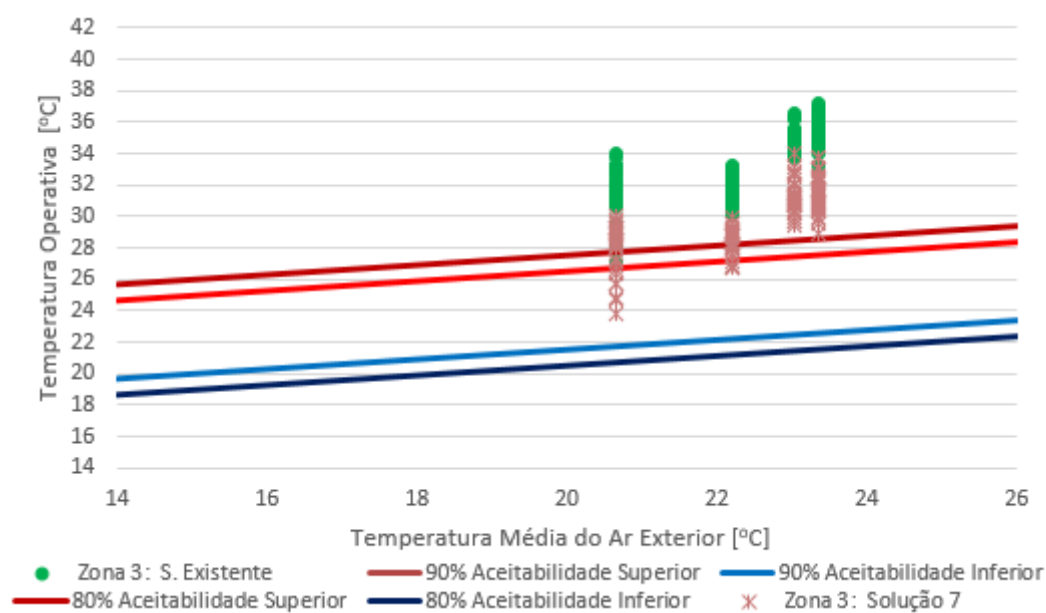


Figura 6.55 - Comparação da solução existente com a solução 7 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

### 6.3.5. Solução 8

Esta solução teve como objetivo perceber a influência de uma melhoria do vão envidraçado nas temperaturas no interior do edifício.

#### 6.3.5.1. Período de Arrefecimento

- Variação da temperatura ao longo do dia:

Através da análise das Figuras 6.56 e 6.57, é possível comparar a diferença da temperatura interior entre a solução existente e a solução 8 para as zonas 1 e 3, respetivamente. Verifica-se que a temperatura interior diminuiu consideravelmente em relação à solução existente, demonstrando que esta é uma boa solução para diminuir as temperaturas no edifício neste período, embora penalize o período de aquecimento.



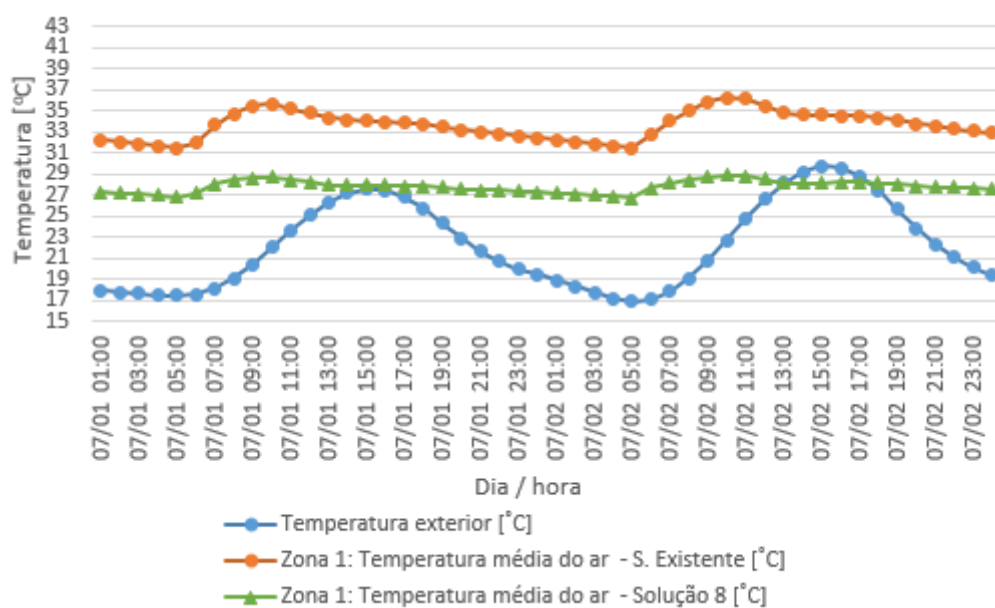


Figura 6.56 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 8 na zona 3 nos dias 1 e 2 de julho

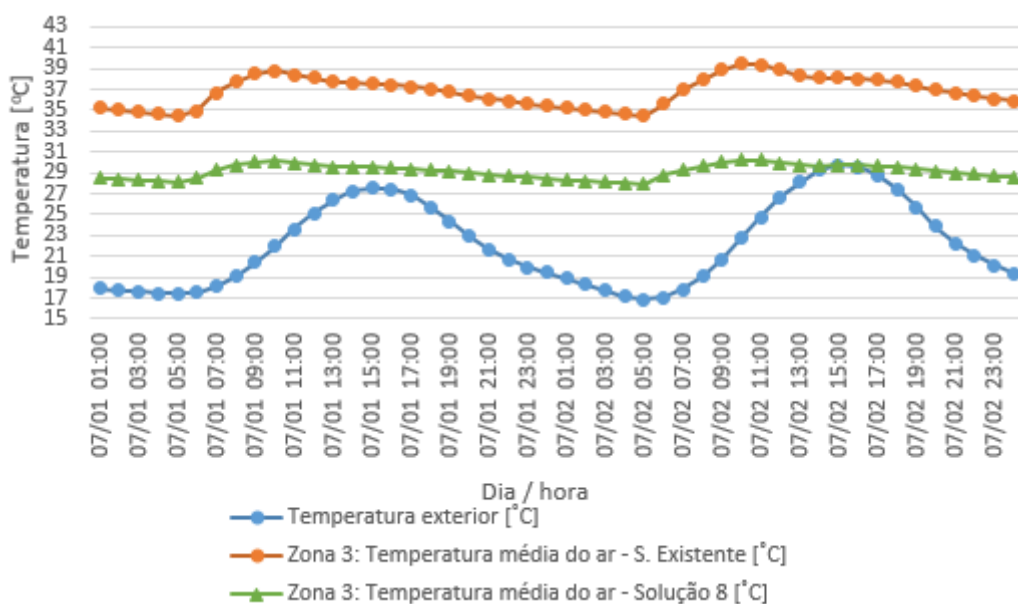


Figura 6.57 - Comparação da evolução da temperatura interior entre a solução existente e a solução 8 na zona 3 nos dias 1 e 2 de julho

### Análise Comparativa do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.58, relativa ao período de arrefecimento na zona 1, que todos os dias verificam as condições de conforto térmico pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.59, que 3%

dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80% e que 21% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%.

É possível observar, através da Figura 6.60, relativa ao período de arrefecimento na zona 3, que todos os dias verificam as condições de conforto térmico pela norma EN 15251. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.61, que 10% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80% e que 36% dos dias se encontram fora do limite de aceitabilidade de 90%.

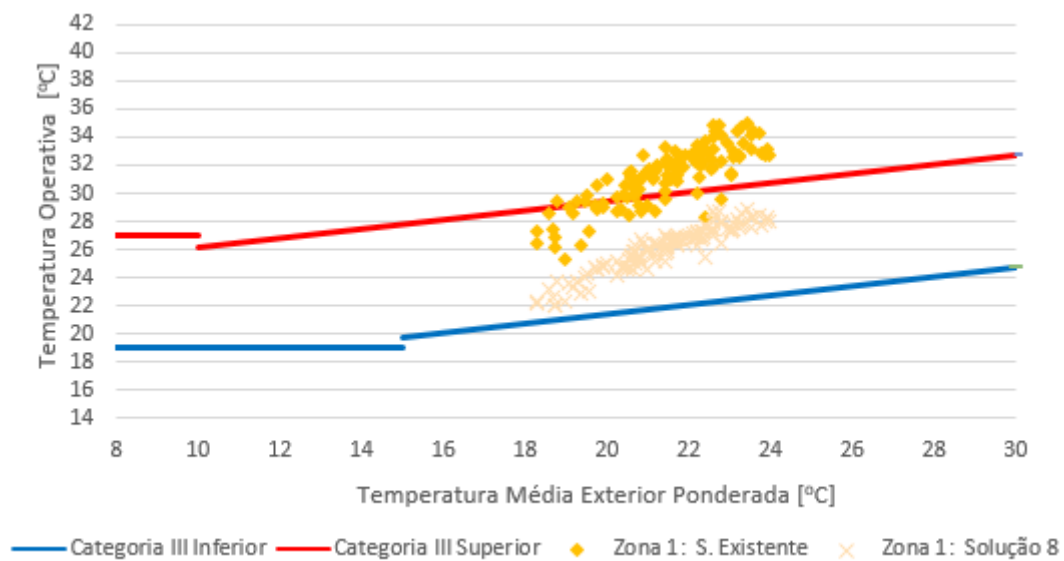


Figura 6.58 - Comparação da solução existente com a solução 8 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251

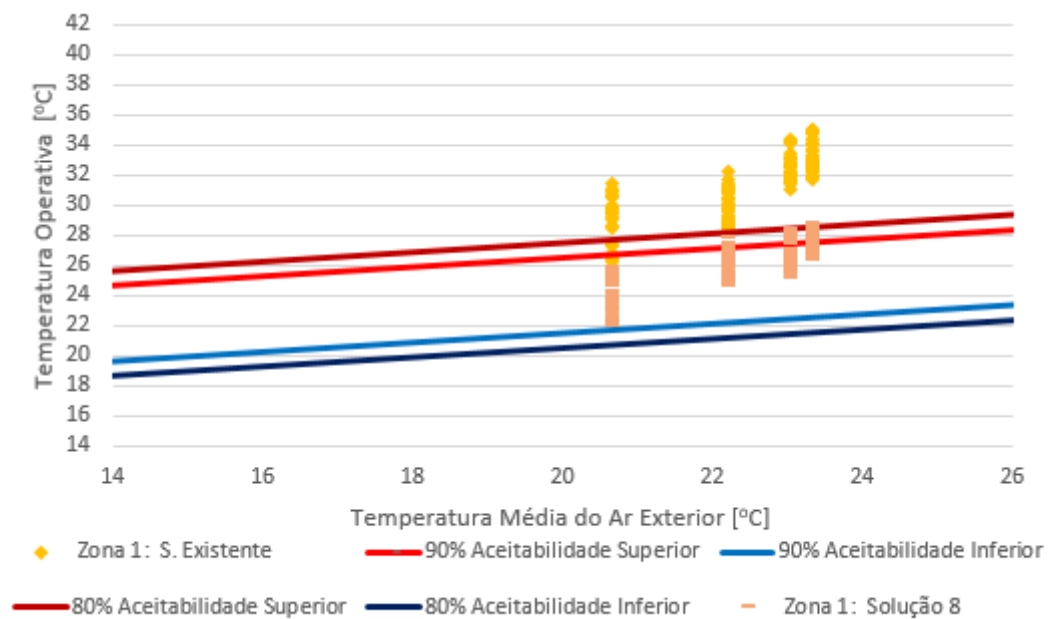


Figura 6.59 - Comparação da solução existente com a solução 8 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

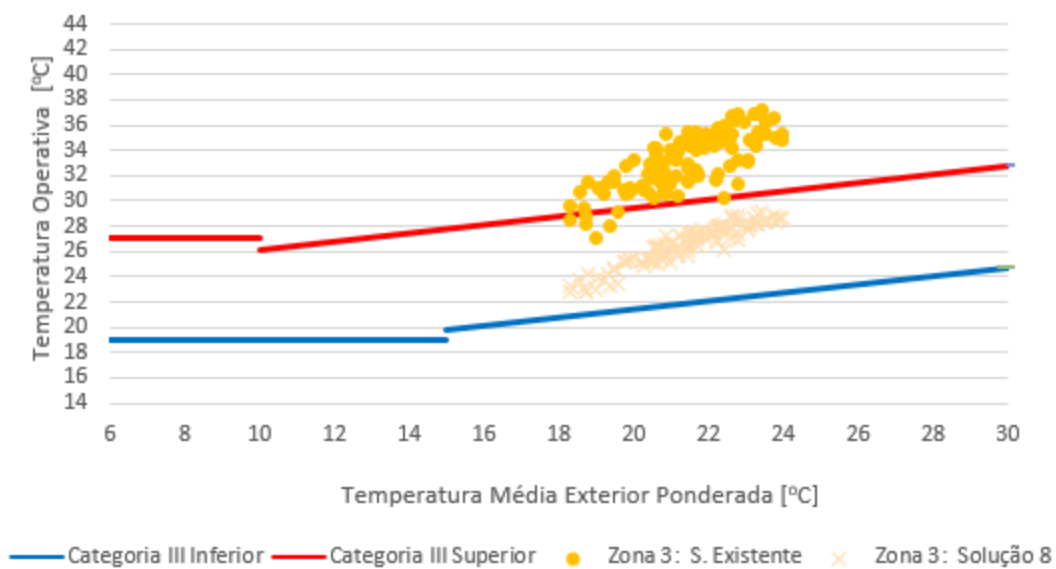


Figura 6.60 - Comparação da solução existente com a solução 8 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251

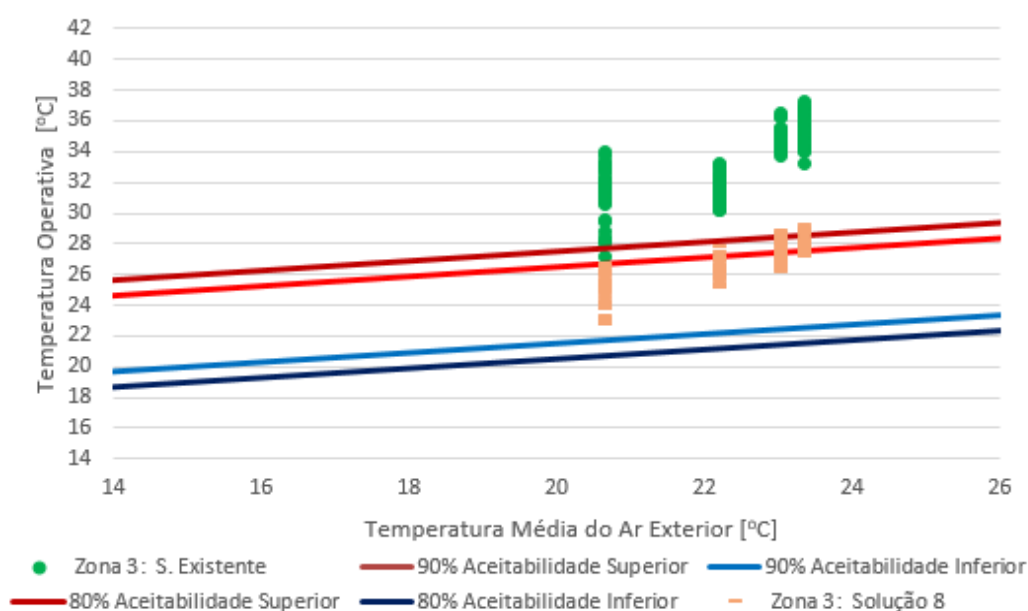


Figura 6.61 - Comparação da solução existente com a solução 8 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

## 6.4. Soluções Propostas

Após a análise individual das soluções e das suas vantagens e desvantagens no comportamento térmico do edifício para cada período, foram realizadas simulações combinando soluções por forma a mitigar as desvantagens de umas e a beneficiar das vantagens de outras, com o objetivo de se obter o melhor comportamento térmico possível. As quatro primeiras combinações procuram introduzir melhorias nas temperaturas do edifício no período de arrefecimento, por vezes com prejuízo para o período de aquecimento. As quatro combinações seguintes visam produzir melhorias de forma equilibrada para ambos os períodos. Na Tabela 6.3 é possível verificar as combinações consideradas.

Tabela 6.3 – Combinações das soluções consideradas para melhoramento térmico do edifício

Combinação	Descrição
<b>C1 (Solução 2+7)</b>	Estores venezianos ativos das 10-16h com ventilação no período de não ocupação
<b>C2 (Solução 2+8)</b>	Estores venezianos ativos das 10-16h com vão envidraçado melhorado
<b>C3 (Solução 3+7)</b>	Estores venezianos ativos das 07-13h com ventilação no período de não ocupação
<b>C4 (Solução 3+8)</b>	Estores venezianos ativos das 07-13h com vão envidraçado melhorado
<b>C5 (Solução 4+7)</b>	Solução com 4 cm de XPS com ventilação no período de não ocupação
<b>C6 (Solução 4+8)</b>	Solução com 4 cm de XPS com vão envidraçado melhorado
<b>C7 (Solução 5+7)</b>	Solução com 10 cm de XPS com ventilação no período de não ocupação
<b>C8 (Solução 5+8)</b>	Solução com 10 cm de XPS com vão envidraçado melhorado

### **6.4.1. Combinações 1 a 4**

As combinações 1 a 4 procuram melhorar o conforto térmico no período de arrefecimento, combinando duas soluções que melhoram o desempenho do edifício nesse período. Relativamente ao período de aquecimento, os resultados foram considerados iguais à solução existente, visto que não foram realizadas alterações à solução construtiva existente. Em seguida, apresenta-se uma comparação entre as combinações 3 e 4.

#### **6.4.1.1. Período de Arrefecimento Combinação 3 e 4**

##### **Análise Comparativa do Conforto Térmico:**

É possível observar, através da Figura 6.62, relativa ao período de arrefecimento na zona 1, que em 2% e 0% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as combinações 3 e 4, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.63, que 19% e 0% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, para as combinações 3 e 4, respetivamente. Pode também verificar-se que 39% e 9% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as combinações 3 e 4, respetivamente.

É possível observar, através da Figura 6.64, relativa ao período de arrefecimento na zona 3, que em 10% e 0% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as combinações 3 e 4, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.65, que 30% e 0% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, para as combinações 3 e 4, respetivamente. Pode também verificar-se que 52% e 15% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as combinações 3 e 4, respetivamente.

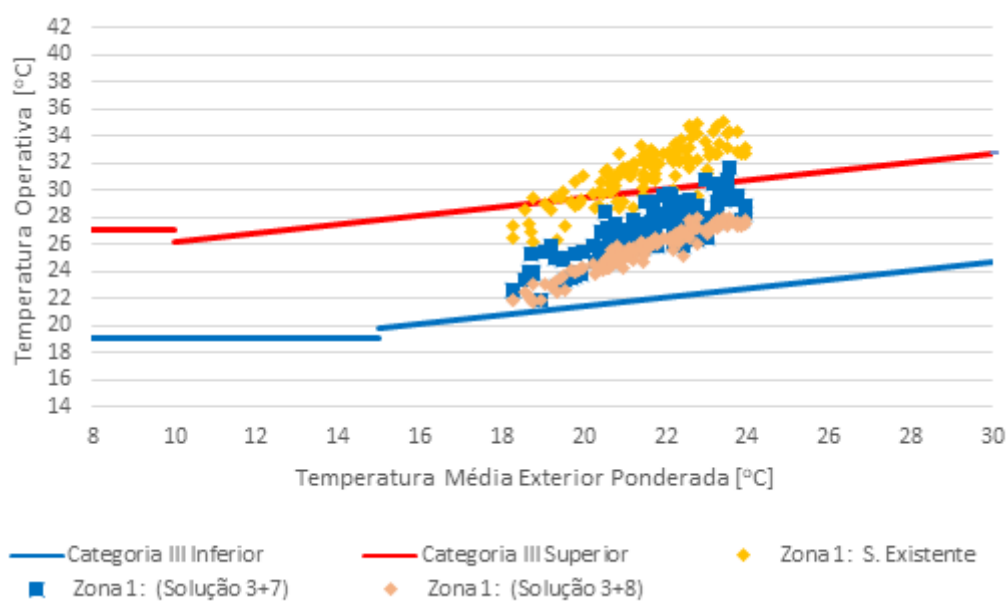


Figura 6.62 - Comparação da solução existente com as combinações 3 e 4 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251

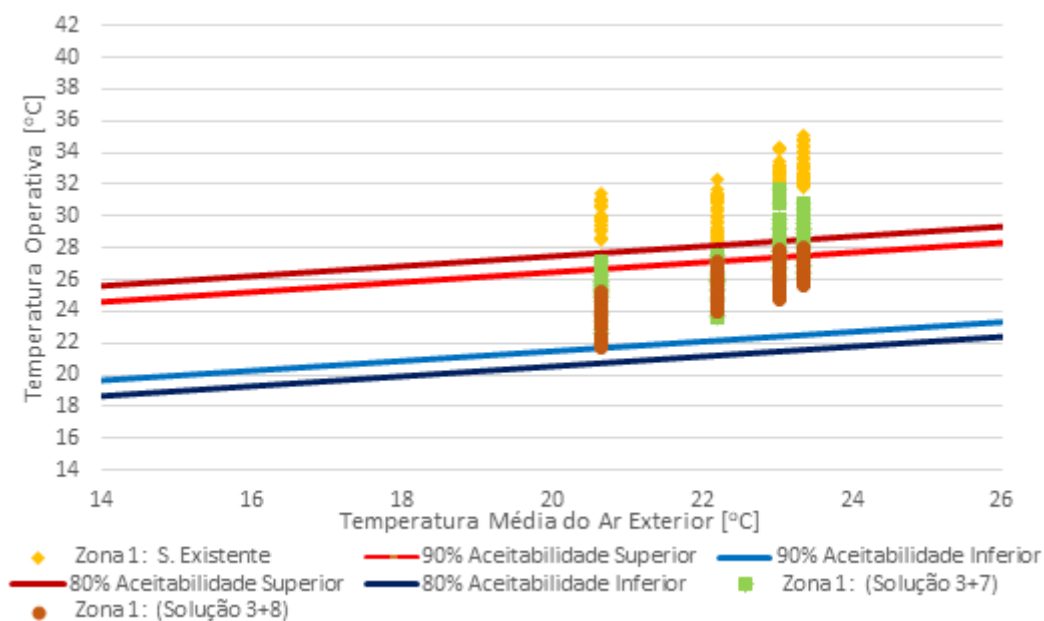


Figura 6.63 - Comparação da solução existente com as combinações 3 e 4 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

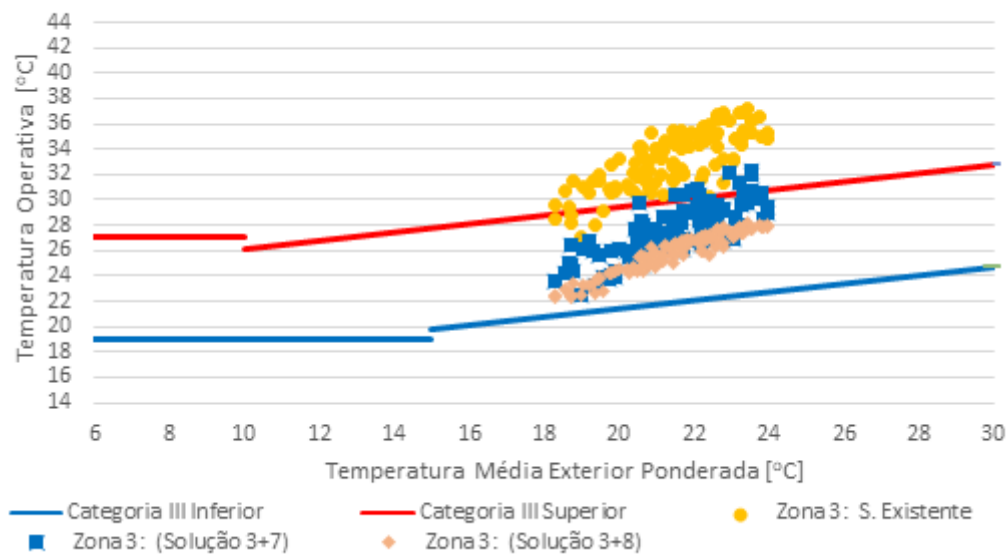


Figura 6.64 - Comparação da solução existente com as combinações 3 e 4 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251

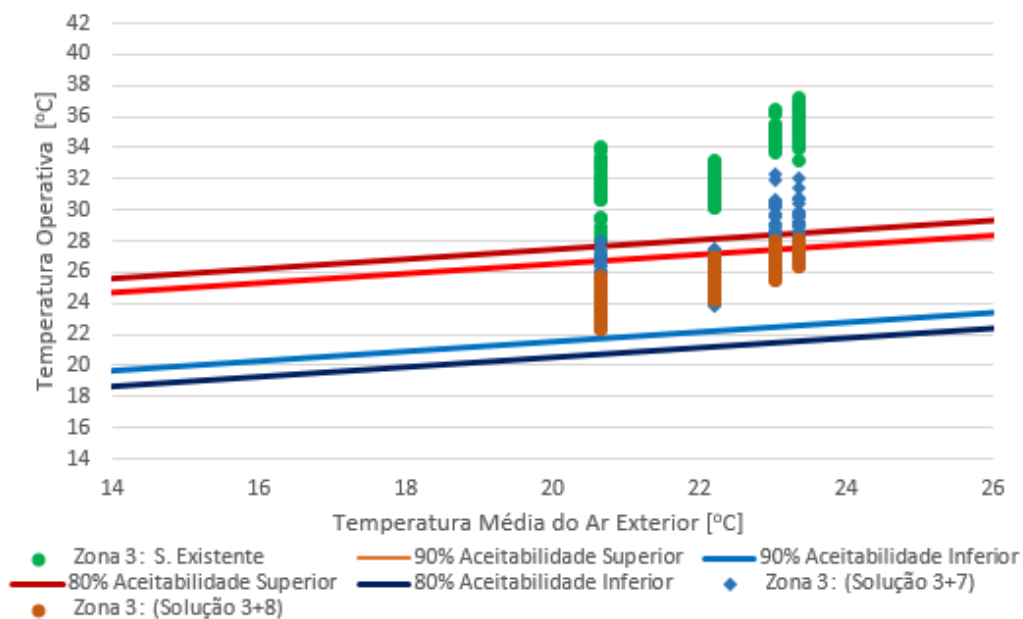


Figura 6.65 - Comparação da solução existente com as combinações 3 e 4 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

#### 6.4.1. Combinações 5 a 8

Com estas combinações, procurou-se melhorar o conforto térmico do edifício para ambos os períodos, ou seja, deixam de existir combinações que contêm duas soluções de

melhoramento para apenas um dos períodos e passam a haver combinações cujas soluções melhoram, de forma individual, cada um dos períodos acima referidos. A seguir irão ser realizadas comparações entre a solução existente e as combinações 5, 6, 7 e 8.

#### 6.4.1.1. Período de Aquecimento Combinação 5 e 6

##### Análise Comparativa do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.66, relativa ao período de aquecimento na zona 1, que em 100% e 100% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as combinações 5 e 6, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.67, que 89% e 100% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, para as combinações 5 e 6, respetivamente. Pode também verificar-se que 98 e 100% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as combinações 5 e 6, respetivamente.

É possível observar, através da Figura 6.68, relativa ao período de aquecimento na zona 3, que em 92% e 100% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as combinações 5 e 6, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.69 que 81% e 100% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, para as combinações 5 e 6, respetivamente. Pode também verificar-se que 92% e 100% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as combinações 5 e 6, respetivamente.

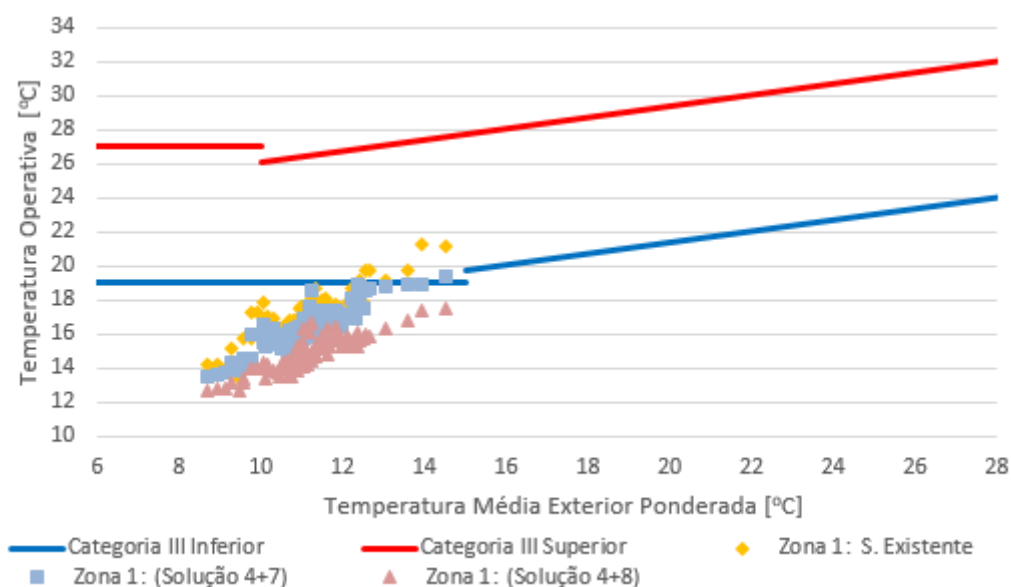


Figura 6.66 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma EN 15251



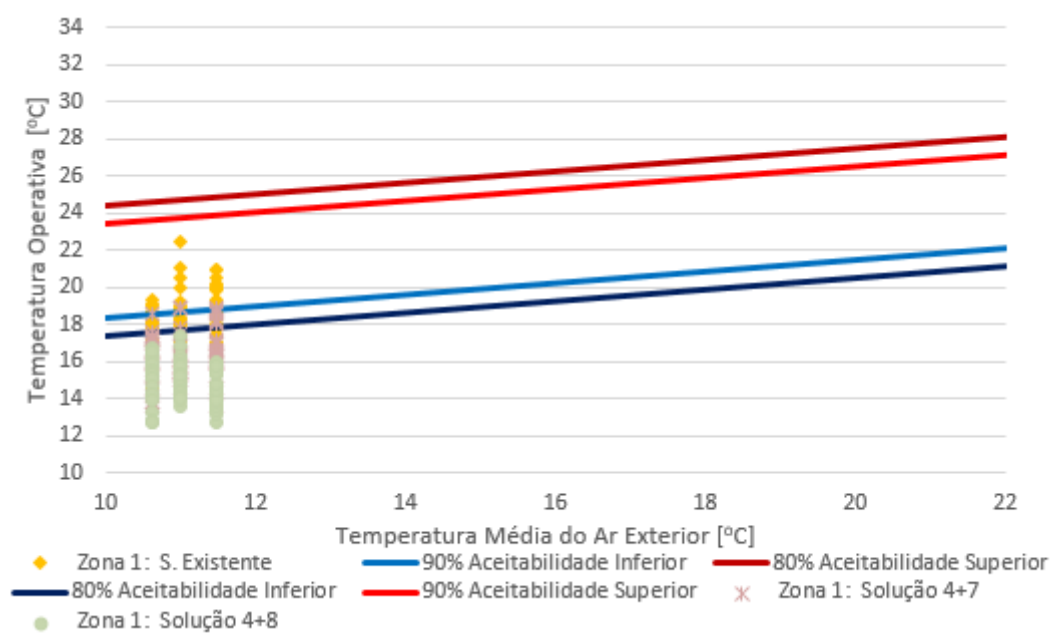


Figura 6.67 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

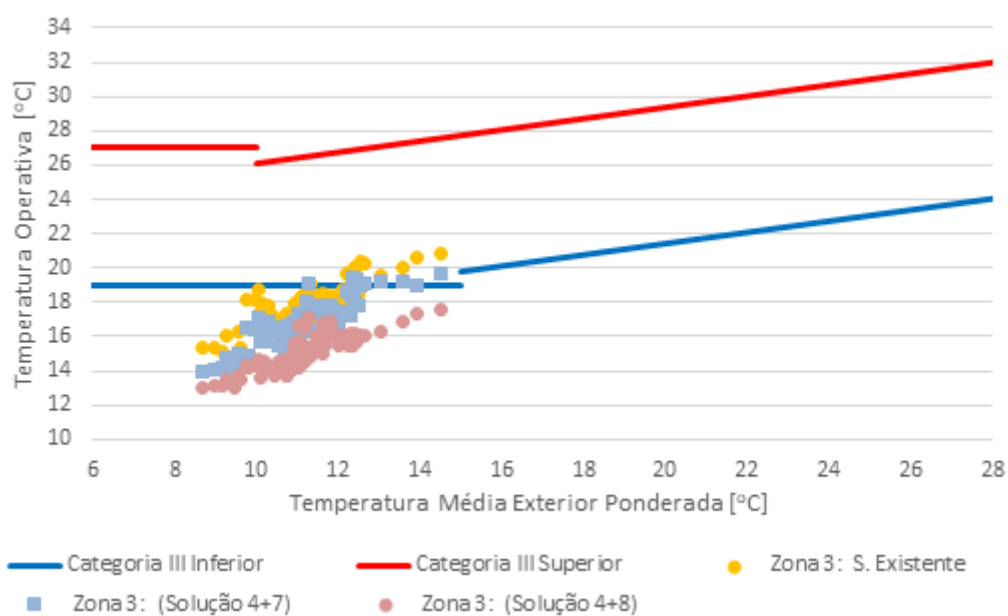


Figura 6.68 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma EN 15251

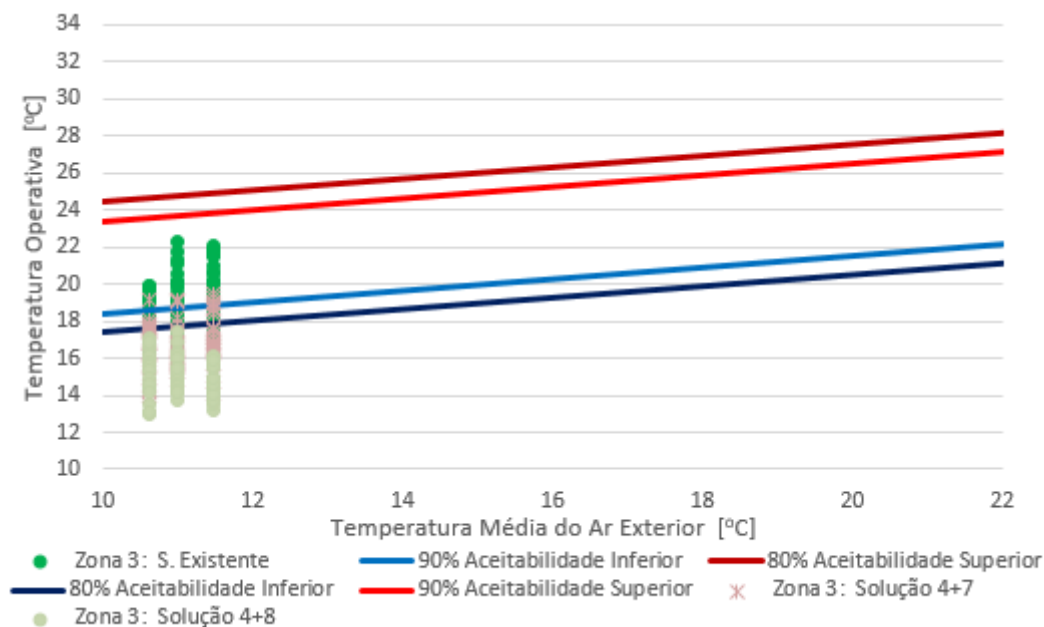


Figura 6.69 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

#### 6.4.1.2. Período de Arrefecimento Combinação 5 e 6

##### Análise Comparativa do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.70, relativa ao período de arrefecimento na zona 1, que em 52% e 0% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as combinações 5 e 6, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.71, que 88% e 1% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, para as combinações 5 e 6, respetivamente. Pode também verificar-se que 96 e 25% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as combinações 5 e 6, respetivamente.

É possível observar, através da Figura 6.72, relativa ao período de arrefecimento na zona 3, que em 71% e 0% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as combinações 5 e 6, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.73, que 91% e 9% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, para as combinações 5 e 6 respetivamente. Pode também verificar-se que 98% e 39% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as combinações 5 e 6, respetivamente.

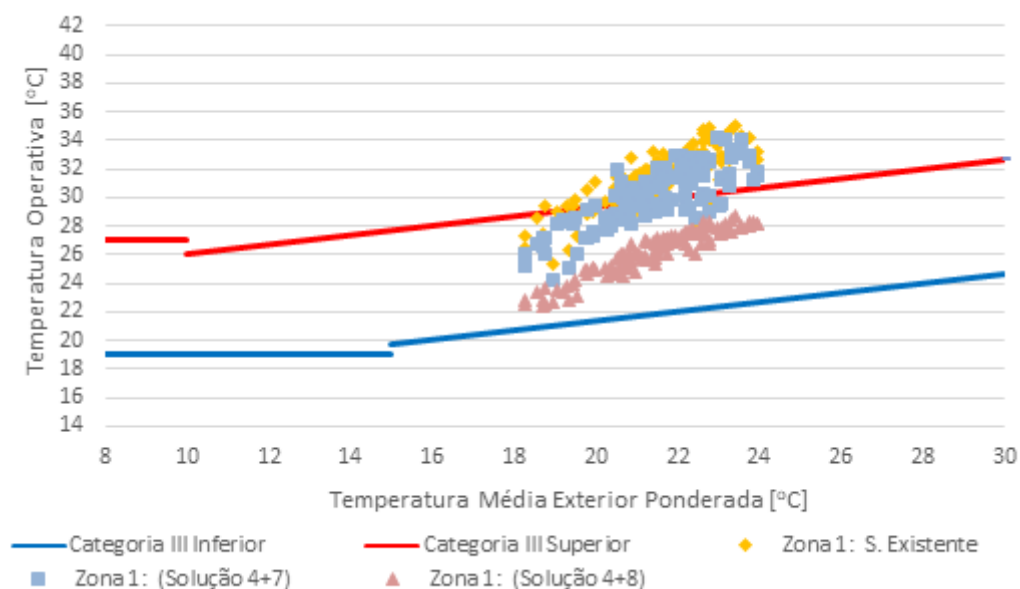


Figura 6.70 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251

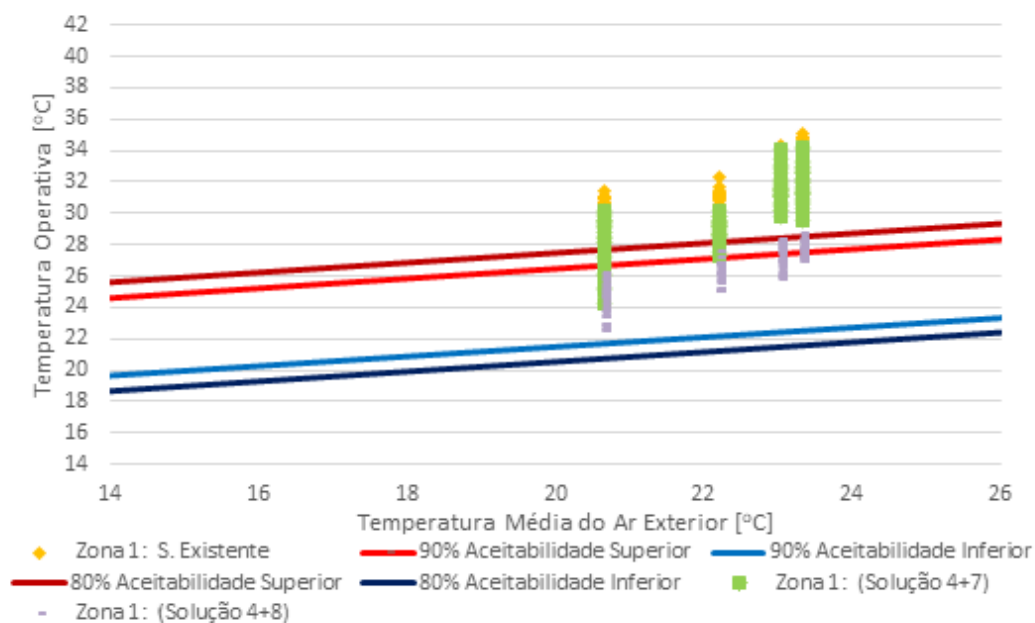


Figura 6.71 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

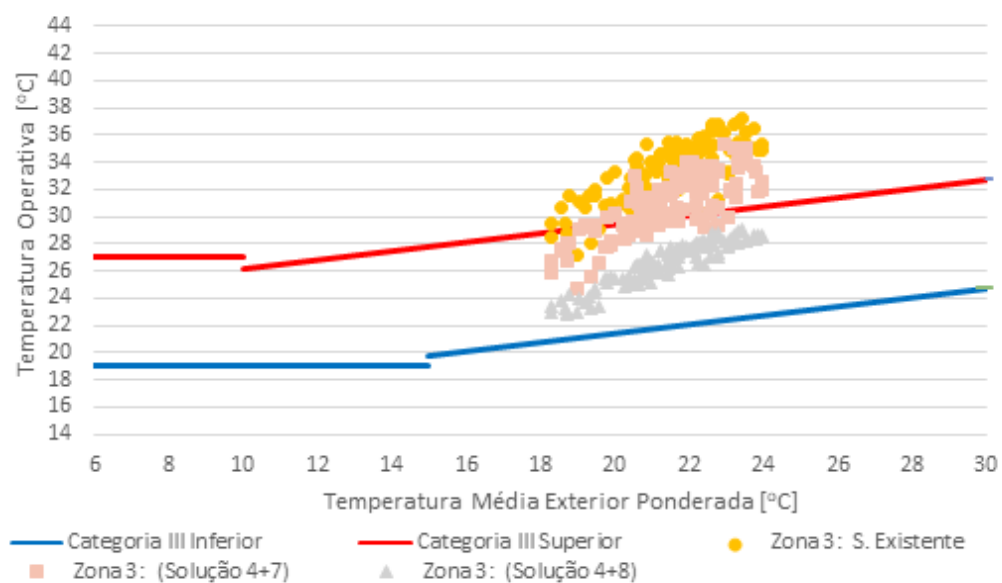


Figura 6.72 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251

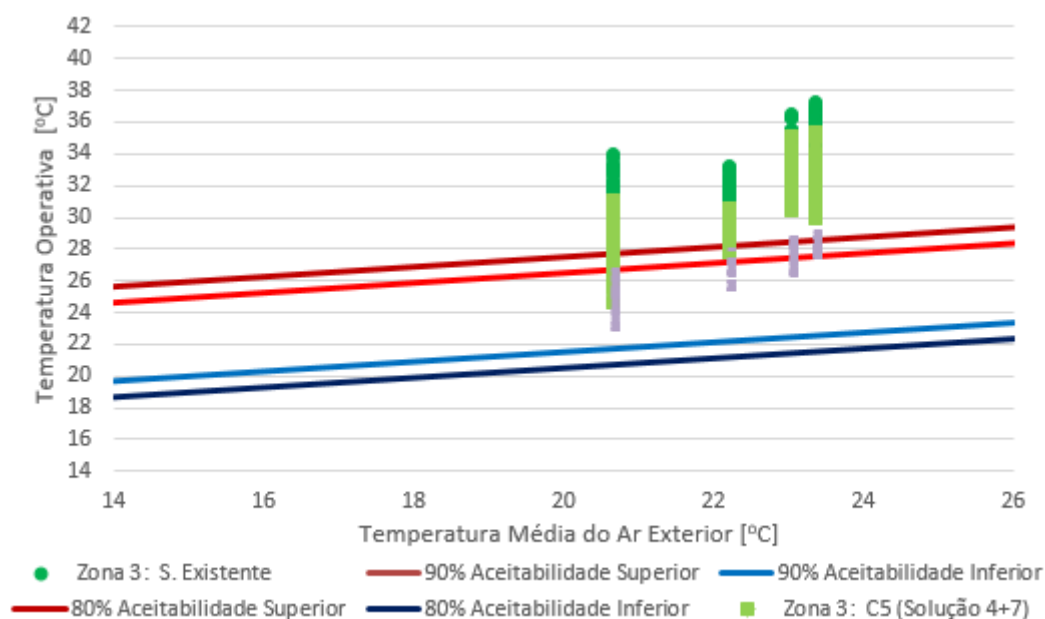


Figura 6.73 - Comparação da solução existente com as combinações 5 e 6 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

#### 6.4.1.1. Período de Aquecimento Combinações 7 e 8

##### Análise Comparativa do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.74, relativa ao período de aquecimento na zona 1, que em 93% e 100% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as combinações 7 e 8, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.75, que 83% e 100% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, para as combinações 7 e 8, respetivamente. Pode também verificar-se que 93% e 100% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as combinações 7 e 8, respetivamente.

É possível observar, através da Figura 6.76, relativa ao período de aquecimento na zona 3, que em 91% e 100% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as combinações 7 e 8, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.77, que 76% e 100% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, para as combinações 7 e 8, respetivamente. Pode também verificar-se que 91% e 100% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as combinações 7 e 8, respetivamente.

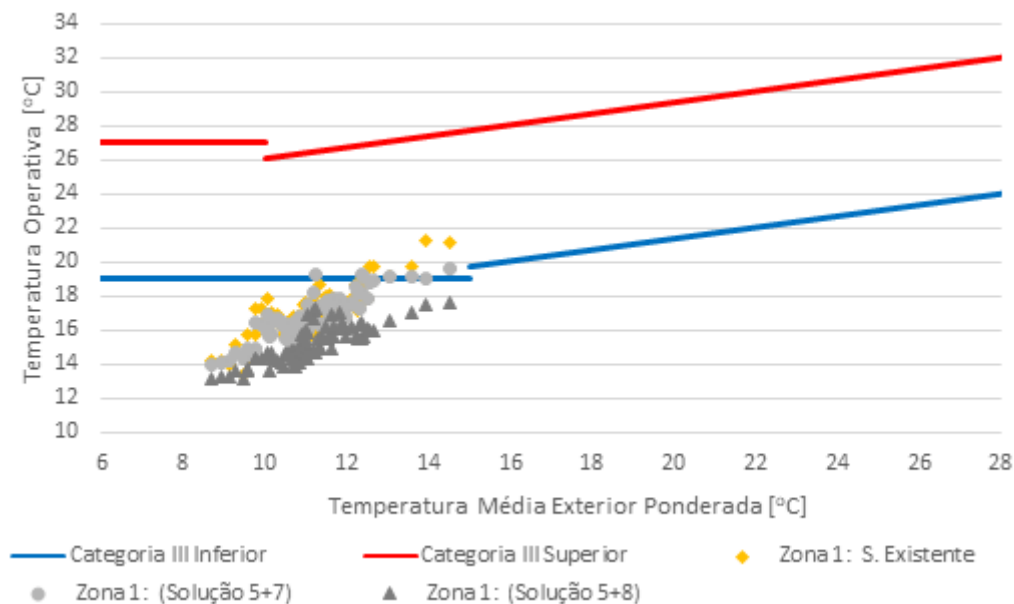


Figura 6.74 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma EN 15251

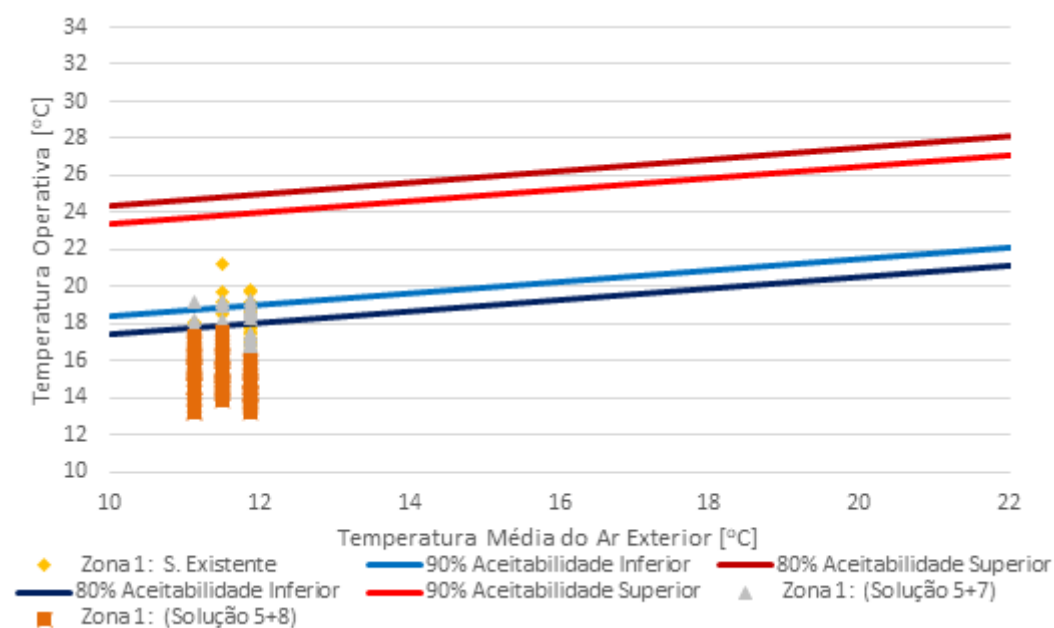


Figura 6.75 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de aquecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55

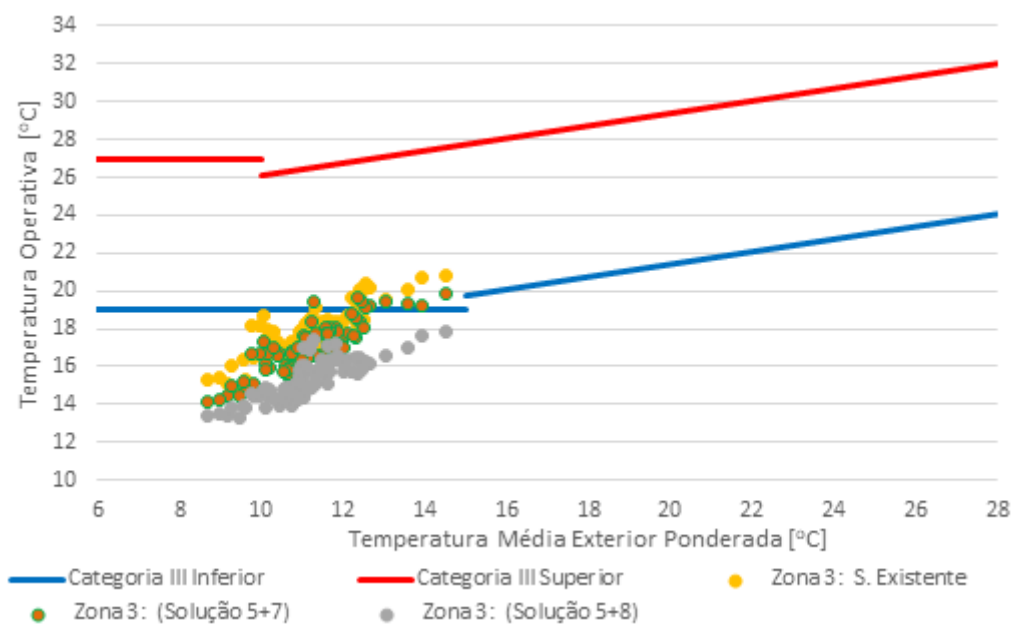


Figura 6.76 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma EN 15251

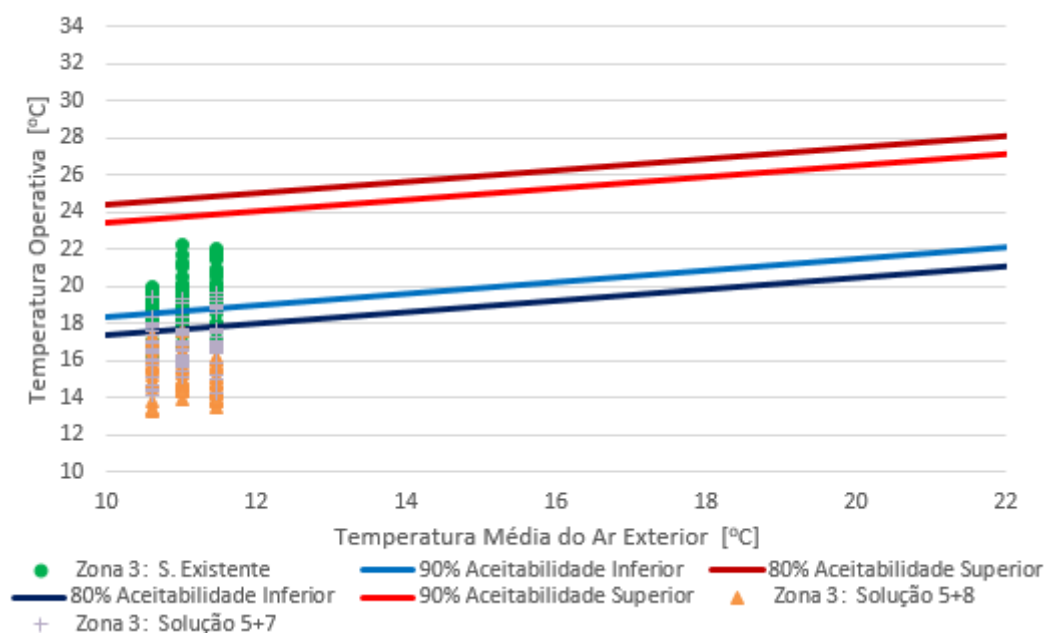


Figura 6.77 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de aquecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

#### 6.4.1.1. Período de Arrefecimento Combinação 7 e 8

##### Análise Comparativa do Conforto Térmico:

É possível observar, através da Figura 6.78, relativa ao período de arrefecimento na zona 1, que em 62 e 0% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as combinações 7 e 8, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.79, que 91% e 8% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, para as combinações 7 e 8, respetivamente. Pode também verificar-se que 97 e 39% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as combinações 7 e 8, respetivamente.

É possível observar, através da Figura 6.80, relativa ao período de arrefecimento na zona 3, que em 76 e 0% dos dias não são cumpridas as condições de conforto térmico pela norma EN 15251, para as combinações 7 e 8, respetivamente. Efetuando a análise através da norma ASHRAE Standard 55, é possível observar, na Figura 6.81, que 93% e 12% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 80%, para as combinações 7 e 8, respetivamente. Pode também verificar-se que 98% e 51% dos dias se situam fora do limite de aceitabilidade de 90%, para as combinações 7 e 8, respetivamente.

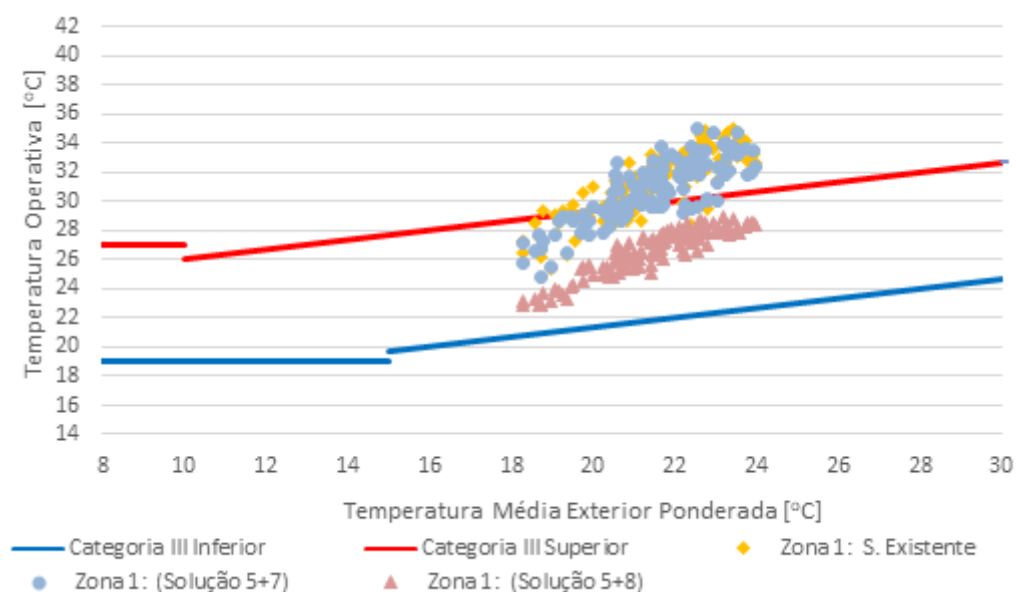


Figura 6.78 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma EN 15251

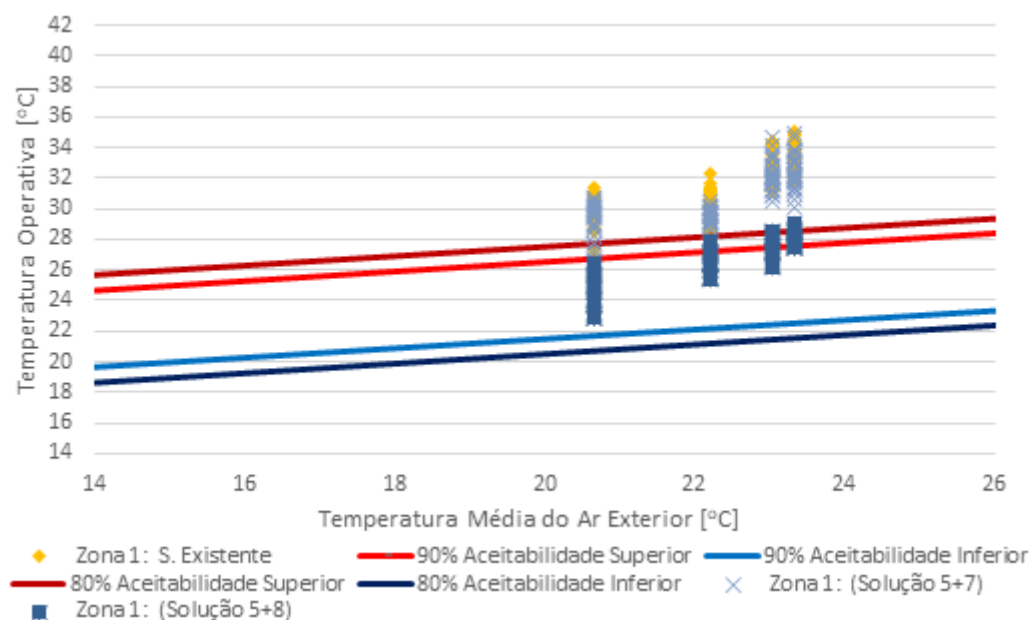


Figura 6.79 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de arrefecimento da zona 1 pela norma ASHRAE 55



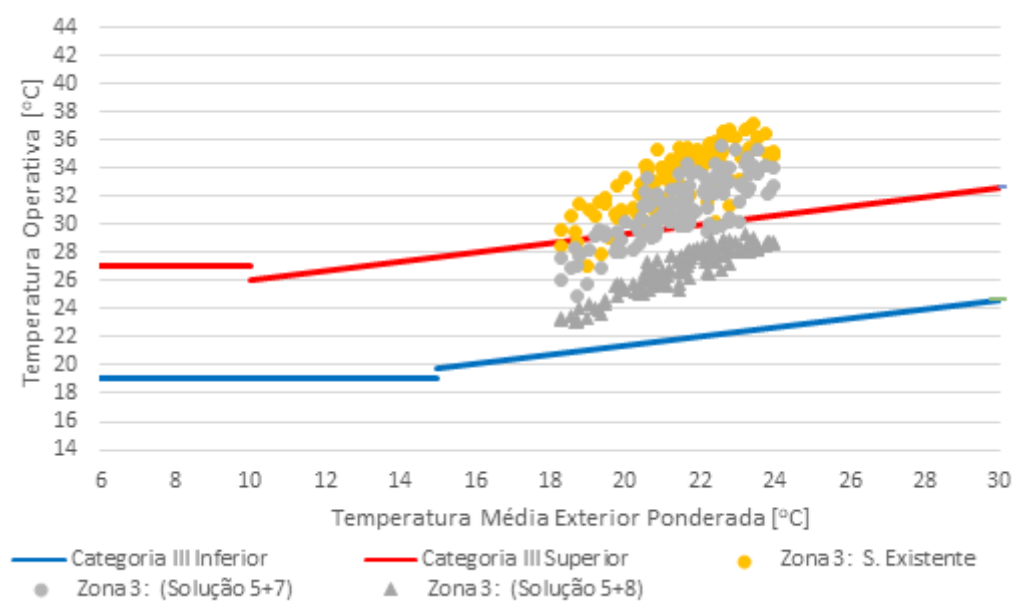


Figura 6.80 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma EN 15251

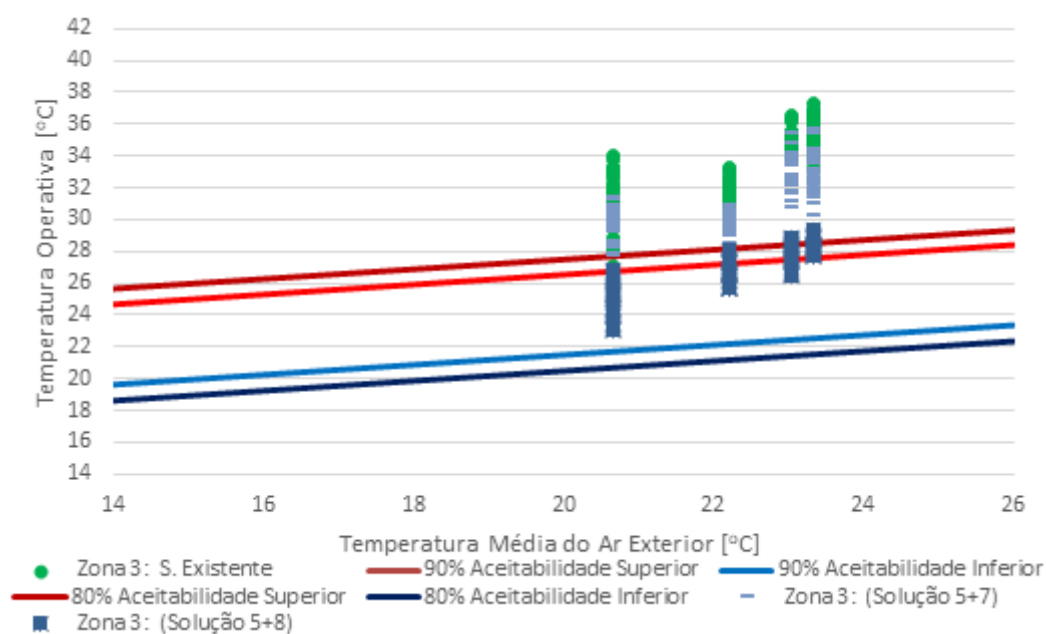


Figura 6.81 - Comparação da solução existente com as combinações 7 e 8 para o período de arrefecimento da zona 3 pela norma ASHRAE 55

### 6.4.2. Considerações Finais

As soluções 1 a 3 e 7, bem como as combinações de 1 a 4, não alteram a solução construtiva pelo que são soluções que permitem uma melhor adaptabilidade às condições ambientais.

As soluções 4 a 6, a solução 8 e as combinações 5 a 8 implicam a alteração da solução construtiva (colocação de isolamento térmico e alteração do tipo de vidro do vão envidraçado), pelo que são soluções que melhoram um dos períodos mas agravam as condições de conforto no outro período.

As soluções 1 a 3 permitem um melhor desempenho do edifício no período de arrefecimento, tendo em conta que a sua influência é bastante significativa no conforto térmico neste período. Saliente-se, que estas soluções não agravam o conforto térmico no período de aquecimento.

As soluções 4 a 6 proporcionam um melhoramento do conforto térmico para o período de aquecimento. À medida que o isolamento térmico aumenta, as temperaturas neste período aproximam-se da linha de conforto térmico. Contudo, esta solução é prejudicial para o período de arrefecimento, uma vez que o aumento do isolamento térmico provoca um sobreaquecimento do espaço.

A solução 7 proporciona um melhoramento do conforto térmico para o período de arrefecimento e consiste em deixar o vão envidraçado aberto durante o período de não ocupação (noite). Esta solução diminui significativamente as temperaturas e não prejudica o período de aquecimento.

A solução 8 proporciona um melhoramento do conforto térmico para o período de arrefecimento, uma vez que o vidro com as novas características é eficaz no bloqueio dos ganhos solares. Esta solução diminui significativamente as temperaturas para o período de aquecimento.

Comparando as combinações 1 e 3, é possível concluir que a combinação 3 apresenta melhores resultados, o que demonstra ser mais importante bloquear os ganhos solares no período das 7h às 13h do que no período das 10h às 16h. Este facto deve-se ao sombreamento precoce do espaço que impede o aquecimento das superfícies, o que por sua vez conduziria ao aumento da temperatura do espaço. Estas combinações não alteram a solução construtiva e não agravam as condições de conforto térmico no período de aquecimento.

Comparando as combinações 2 e 4, é possível concluir que a combinação 4 apresenta melhores resultados, tal como sucede na comparação entre as combinações 1 e 3, o que se

deve novamente ao facto de o sombreamento precoce do espaço impedir o aquecimento das superfícies, o que por sua vez conduziria ao aumento da temperatura do espaço.



## 7. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Apresentam-se, neste capítulo, as conclusões finais retiradas da realização deste estudo. Neste capítulo pretende-se transmitir uma perspetiva global da análise efetuada e já descrita no capítulo anterior.

### 7.1. Conclusões Finais

O desempenho térmico de um edifício é influenciado por inúmeras variáveis, podendo destacar-se a importância de uma boa adequação das soluções construtivas ao local onde este se insere. É fundamental conhecer a resposta de um edifício face às diversas alterações climáticas a que se encontra sujeito, permitindo selecionar as melhores soluções que garantam um conforto térmico adequado sem ser necessário recorrer a sistemas de climatização.

A análise dos questionários feitos aos utilizadores dos gabinetes e a aplicação dos modelos adaptativos descritos nas Normas EN 15251 e ASHRAE Standard 55 aos dados obtidos através da simulação dinâmica efetuada em regime de funcionamento livre no programa *EnergyPlus*, permitiram obter a mesma conclusão: os gabinetes em estudo não reúnem condições de conforto térmico em nenhum dos períodos considerados. O principal fator que contribui para estes baixos níveis de conforto térmico é a elevada percentagem que os vãos envidraçados representam na área de contato entre os gabinetes e o exterior, tornando-os bastante vulneráveis aos ganhos solares.

Relativamente aos questionários, concluiu-se que existe uma necessidade de melhoria para ambos os períodos, sendo esta necessidade maior no período de aquecimento. Na escala de sensação térmica para o período de aquecimento, 87% dos utilizadores escolheram as duas classes mais gravosas de desconforto térmico, sendo que no período de arrefecimento as respostas enquadradas nestas classes foram de 57%. É de salientar que em ambos os períodos nenhum dos inquiridos identificou o ambiente em termos de conforto térmico como neutro.

Através da análise das soluções para o período de aquecimento, verifica-se uma melhoria à medida que a espessura de isolamento térmico aumenta, o que provoca um aumento da temperatura interior para níveis de conforto térmico mais próximos do aceitável. Esta solução prejudica bastante o período de arrefecimento, uma vez que o nível de isolamento térmico da envolvente provoca um sobreaquecimento neste período. Esta conclusão está de acordo com um estudo relativo a esta temática (17).

Para o período de arrefecimento, existem mais opções para fazer face às temperaturas elevadas que se fazem sentir nesta época do que para fazer face às baixas temperaturas no período de aquecimento. Concluiu-se que a ventilação dos gabinetes durante o período de não utilização (noite), permite uma redução significativa na temperatura do edifício. O sombreamento

dos vãos envidraçados, onde se tenta controlar e diminuir ao máximo os ganhos solares, também demonstrou ser uma solução com vantagens significativas. A substituição dos vidros dos vãos envidraçados por outros com melhores características também melhora o desempenho dos espaços, uma vez que diminui os ganhos solares. No entanto esta é uma situação que agrava as temperaturas do edifício no período de aquecimento.

As conclusões retiradas deste estudo vão ao encontro de um estudo realizado no LNEC em 2010, onde se concluiu que em Portugal “existem situações em que as soluções construtivas são desadequadas e a climatização do edifício é imprescindível, mas utilizando soluções e medidas passivas adequadas é possível atingir níveis de conforto térmico aceitáveis sem recorrer a sistemas de climatização” (20).

## **7.2. Desenvolvimentos Futuros**

Após análise das soluções de melhoria simuladas e a explanação das conclusões daí retiradas, foi possível delinear algumas propostas para desenvolvimentos futuros.

Seria uma mais valia a distribuição de questionários aos ocupantes dos gabinetes em estudo preferencialmente, organizada em duas campanhas, uma no período de aquecimento e outra no período de arrefecimento. Este facto permitiria cruzar a informação extraída dos questionários apresentados nesta dissertação, permitindo uma melhor caracterização da sensação térmica dos inquiridos para os períodos efetivamente em estudo.

A monitorização dos parâmetros físicos relativos aos gabinetes, em ambos os períodos em estudo, permitiria uma análise comparativa com os dados obtidos nesta dissertação. Alguns dos parâmetros que deveriam ser monitorizados são: os ganhos solares através dos vãos envidraçados, a humidade relativa e as temperaturas interior e exterior.

Seria também interessante analisar, não apenas os gabinetes, mas também as restantes partes do edifício composto, maioritariamente por salas de aula, com o objetivo de verificar se os resultados obtidos nessas salas se assemelham aos obtidos nesta dissertação para os gabinetes e se podem ou não ser extrapolados.

## 8. Referências Bibliográficas

1. ADENE. EPBD (recast) e as implicações para Portugal. In: Net Zero-Energy Buildings Conference. 2012. p. 21.
2. American Society for Heating R and A-CE. ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2010;
3. DGEG. Energia em Portugal [Internet]. 2017. Available from: [www.dgeg.pt](http://www.dgeg.pt)
4. Fragoso R. O Novo Enquadramento Legal do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE). Encontro 2013 ADENE - Agências Reg e Munic Energ. 2013;
5. Henriques FMA. Comportamento Higrotérmico de Edifícios. 11.5. Lisboa: FCT/UNL; 2011.
6. Aelenei L. Envolvente na Eficiência Energética dos Edifícios. In Green Campus, LNEG; 2011.
7. Ministério das Obras Públicas. O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)-Decreto-Lei n.º 79/2006. Diário da República. 2006;(4 de Abril):53 (2416-2468).
8. EN ISO7730. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV (predicted mean vote) and PPD (predicted percentage of dissatisfied) indices and local thermal comfort. 2006. p. 1–52.
9. Ruas ÁC. Avaliação de conforto térmico - Contribuição à aplicação prática das normas internacionais. Universidade Estadual de Campinas; 2001.
10. Almeida HS. Análise do Conforto Térmico de Edifícios utilizando abordagens Analítica e Adaptativa. Instituto Superior Técnico; 2010.
11. F. C. Houghten, W. W. Teague, W. E. Miller and WPY. Thermal exchanges between the human body and its atmospheric environment. Res Lab Am Heat Vent Eng. 1929;
12. Auliciems A, Szokolay S V. Thermal comfort. PLEA Int Dep Archit Univ Queensl. 2007;66.
13. Talaia H. Índices PMV e PPD na definição da “performance” de um ambiente. In Coimbra: Universidade de Aveiro; 2009.

14. Fanger PO. Assessment of man's thermal comfort in practice. *Occup Environ Med* [Internet]. 1973;30(4):313–24. Available from: <http://oem.bmj.com/cgi/doi/10.1136/oem.30.4.313>
15. Humphreys MA. The dependence of comfortable temperatures upon indoor and outdoor climates. *Stud Environ Sci*. 1981;10(C):229–50.
16. Baker N, Standeven M. Thermal comfort for free-running buildings. *Energy Build*. 1996;23(3):175–82.
17. Chvatal K. Relação entre o Nível de Isolamento Térmico da Envolvente dos Edifícios e o Potencial de Sobreaquecimento no Verão. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2007.
18. Dias AA. Ana Alexandra Cunha Dias Avaliação da percepção da influência do conforto térmico na produtividade. Universidade do Minho; 2013.
19. Coelho DAS. Avaliação do Conforto Térmico em Salas de Aula. Instituto Politécnico de Viseu; 2014.
20. Matias L, Santos CP dos. Conforto térmico adaptativo no setor residencial em portugal. *Congr Int da Habitação em Espaço Lusófono*. 2013;1–12.
21. Decreto nº 40/90, de 6 de fevereiro - Aprovação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios [Internet]. Vol. 1.ª série, Diário da República. 1990. p. 490–504. Available from: <http://www.oasrn.org/upload/apoio/legislacao/pdf/termico4090.pdf>
22. Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de Maio. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Diário da República Nº 105, I série-A. 1998;2114–2129, Lisboa, Portugal (in Portuguese).
23. Comissão Europeia. DIRECTIVA 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios. *J Of das Comunidades Eur*. 2003;L 1(11):65–71.
24. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.º 80/2006. Diário da República - I Série - A - nº 67. 2006;46(2468-2513).
25. Decreto-Lei 118/2013. Diário da República , 1ª Série - Nº159. 2013;4988–5005.
26. European Committee for Standardization. Indoor environmental input parameters for design and indoor air quality , thermal environment , lighting and acoustics. 2006. p. 1–



52.

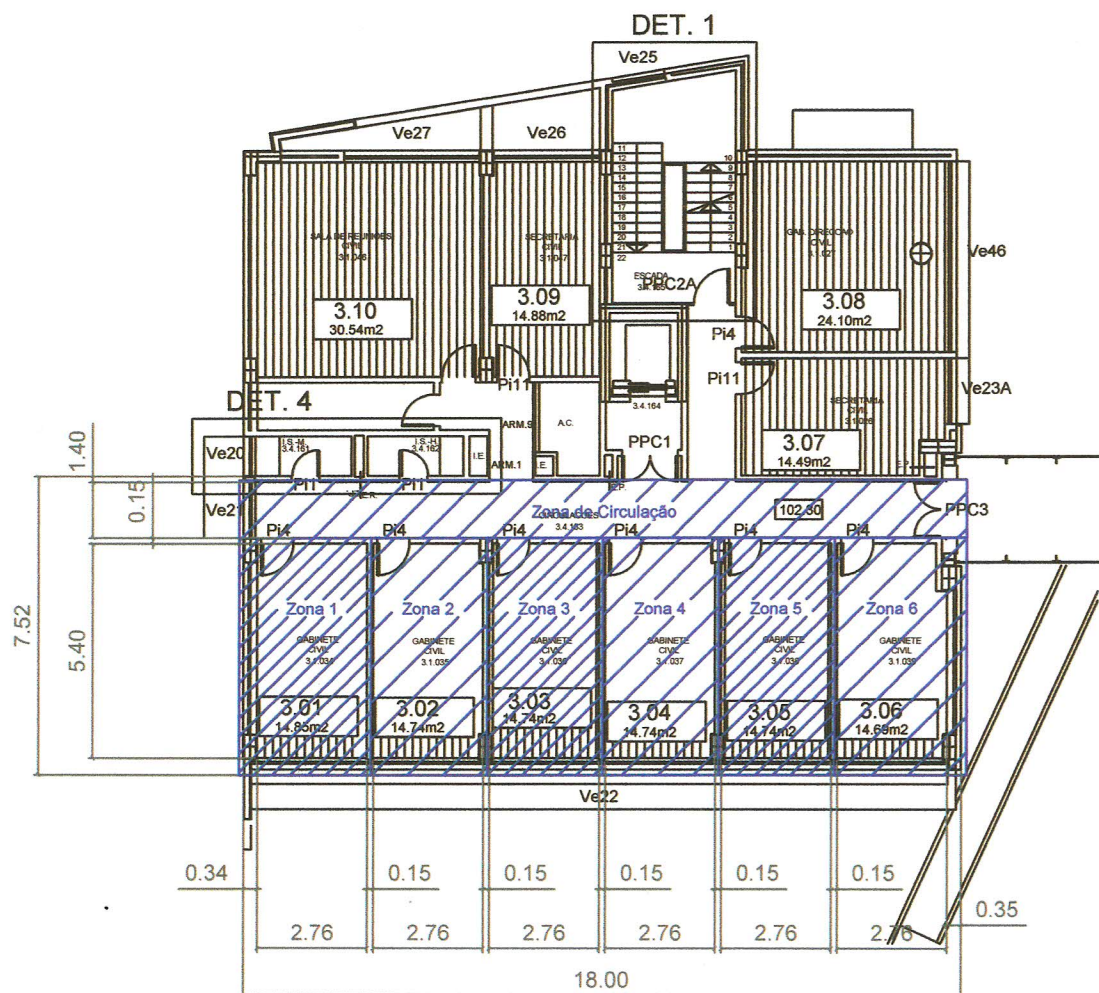
27. Pechincha JP da S. Avaliação do impacte das pontes térmicas no desempenho térmico dos edifícios do Campus da FCT/UNL – análise experimental. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa; 2011.
28. Matos AMM da CM de. Evolução do Campus da Caparica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa; 2009.
29. Localização do Campus - <https://goo.gl/maps/qDXi6mf4B4H2>.
30. Campus FCT/UNL - <https://goo.gl/maps/5QbiagW3hZE2>.
31. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Apresentação [Internet]. [cited 2004 Jul 20]. Available from: <http://www.fct.unl.pt/faculdade/apresentação>
32. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Planta do Campus [Internet]. [cited 2017 Apr 1]. Available from: <http://www.fct.unl.pt/faculdade/planta-do-campus>
33. Santos CAP, Matias L. Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Lisboa: LNEC; 2006.
34. U.S. Department of Energy's. EnergyPlus [Internet]. [cited 2017 Apr 1]. Available from: <https://energyplus.net/>
35. American Society for Heating R and A-CE. ASHRAE Standard 140. 2011.
36. U.S. Department of Energy's (DOE). Weather Data by Location [Internet]. [cited 2017 Apr 1]. Available from: [https://energyplus.net/weather-location/europe\\_wmo\\_region\\_6/PRT//PRT\\_Lisboa.085360\\_INETI](https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/PRT//PRT_Lisboa.085360_INETI)



## **Anexos**



# Anexo I – Desenhos de Arquitetura do Edifício em Estudo

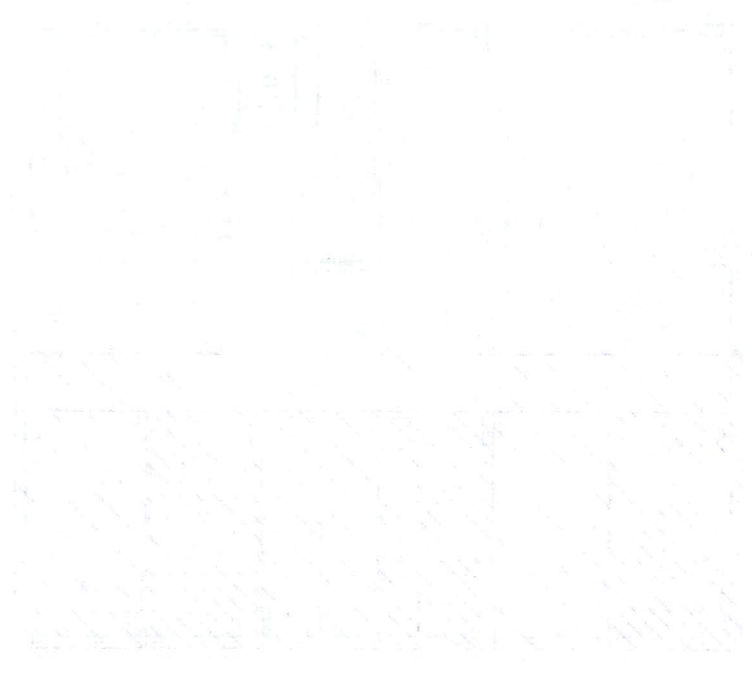


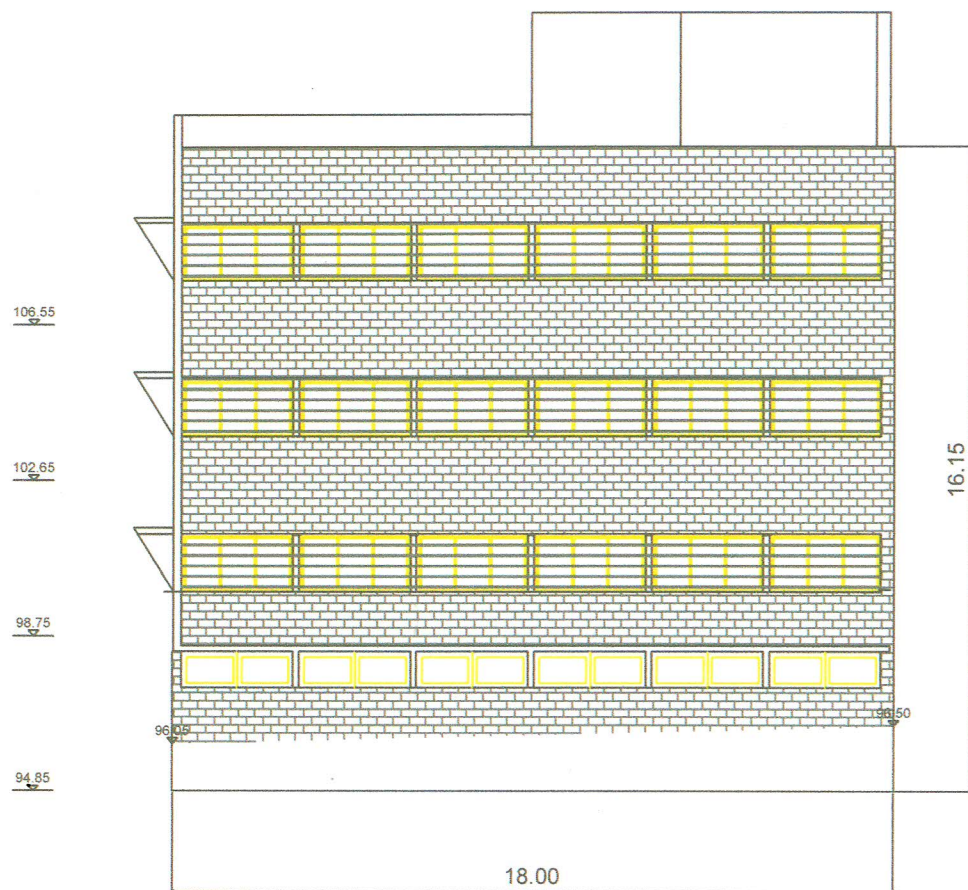
## Legenda:



Zonas consideradas para o estudo

Identificação: Filipe Miguel Gomes Loureiro	Análise de Conforto Térmico dos Gabinetes do Edifício de Engenharia Civil da FCT/UNL Planta do piso tipo			Peça Desenhada: 01
	FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA Departamento de Engenharia Civil	Data: Setembro 2017	Escala: 1:200	Desenho nº: 01

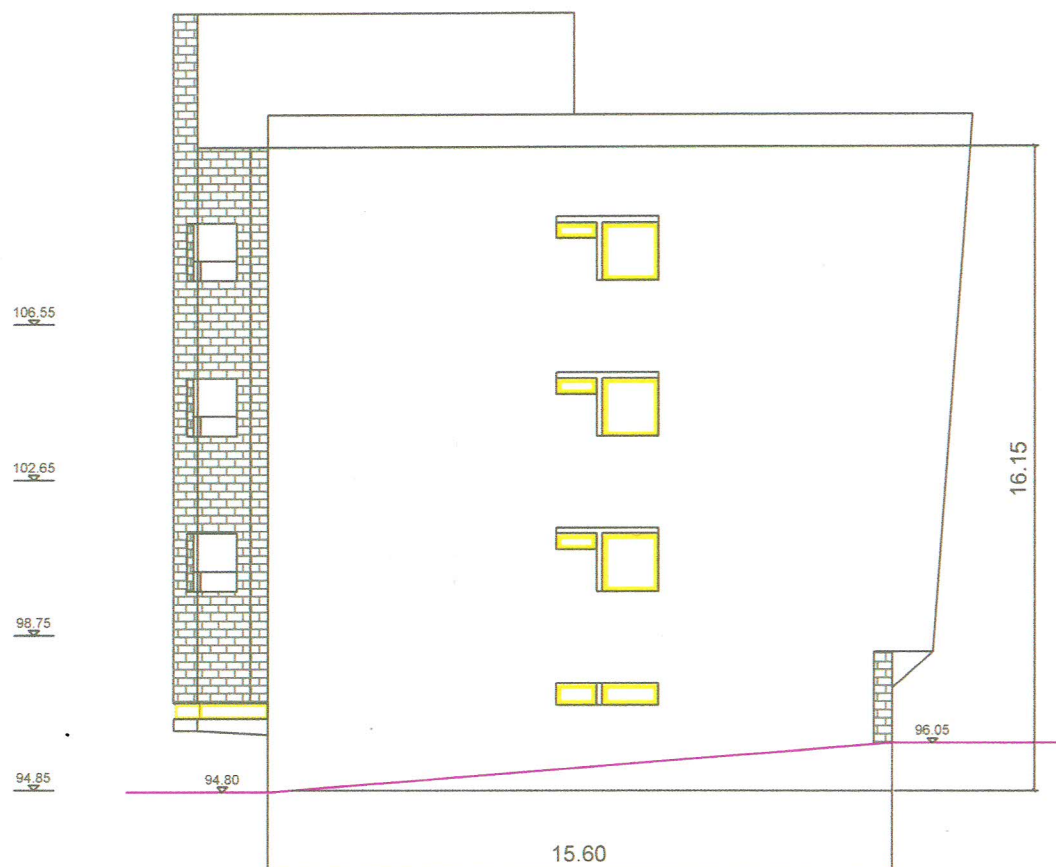




Identificação: Filipe Miguel Gomes Loureiro	Análise de Conforto Térmico dos Gabinetes do Edifício de Engenharia Civil da FCT/UNL Alçado Principal (Este)			Peça Desenhada: 02
	FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA Departamento de Engenharia Civil	Data: Setembro 2017	Escala: 1:200	Desenho nº: 02







<b>Identificação:</b> <b>Filipe Miguel</b> <b>Gomes Loureiro</b>	<b>Análise de Conforto Térmico dos Gabinetes do Edifício</b> <b>de Engenharia Civil da FCT/UNL</b> <b>Alçado Lateral (Sul)</b>			<b>Peça Desenhada:</b> <b>03</b>
	<b>FACULDADE DE</b> <b>CIÊNCIAS E TECNOLOGIA</b> <b>UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA</b> Departamento de Engenharia Civil	<b>Data:</b> <b>Setembro 2017</b>	<b>Escala:</b> <b>1:200</b>	<b>Desenho nº:</b> <b>03</b>





Identificação: Filipe Miguel Gomes Loureiro	Análise de Conforto Térmico dos Gabinetes do Edifício de Engenharia Civil da FCT/UNL Alçado Lateral (Norte)			Peça Desenhada: 04
	FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA Departamento de Engenharia Civil	Data: Setembro 2017	Escala: 1:200	Desenho nº: 04





## Anexo II – Questionário Distribuído aos Ocupantes dos Gabinetes do Edifício em Estudo

### Questionário para avaliação do conforto térmico (Edifício de Engenharia Civil da FCT-UNL)

No âmbito de uma dissertação de mestrado sob orientação do Prof. Doutor Daniel Aelenei surgiu a necessidade de realizar o seguinte inquérito.

Tem como objetivo conhecer a opinião dos docentes do edifício de engenharia civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia relativamente ao conforto térmico, de modo a identificar o nível e os fatores que influenciam a sensação de conforto térmico.

A sua participação é fundamental para o desenvolvimento deste estudo, pedimos que responda com sinceridade a todas as perguntas.

Todas as respostas são confidenciais e anónimas, sendo que os resultados terão um tratamento estatístico.

#### 1. Informação Pessoal

Faixa etária: ☐ 15-24  
☐ 25-54  
☐ 55-64  
☐ >65

Sexo: ☐ Masculino ☐ Feminino

Momento da avaliação: \_\_\_\_\_ hora(s) \_\_\_\_\_ minuto(s)

Local da avaliação: ☐ Gabinete nº: \_\_\_\_\_

#### 2. Local de trabalho

##### 2.1. Qual é o seu horário de trabalho:

Entra antes das: ☐ 8h  
☐ 9h  
☐ 10h  
☐ 11h  
☐ 12h

Sai depois das: ☐ 16h  
☐ 17h  
☐ 18h  
☐ 19h  
☐ 20h

##### 2.2. Sente desconforto térmico no seu local de trabalho?

☐ Não

☐ Sim => períodos do ano em que mais sente esse desconforto? ☐ Verão  
☐ Inverno



### 3. Conforto Térmico

Considerando apenas o ambiente térmico do local onde se encontra, responda às seguintes questões:

#### 3.1. Como sente o ambiente térmico no Inverno?

- ☐ Muito quente (+3)
- ☐ Quente (+2)
- ☐ Ligeiramente quente (+1)
- ☐ Neutra (0)
- ☐ Ligeiramente fresco (-1)
- ☐ Fresco (-2)
- ☐ Frio (-3)

#### 3.2. Como sente o ambiente térmico no Verão?

- ☐ Muito quente (+3)
- ☐ Quente (+2)
- ☐ Ligeiramente quente (+1)
- ☐ Neutra (0)
- ☐ Ligeiramente fresco (-1)
- ☐ Fresco (-2)
- ☐ Frio (-3)

#### 3.3. Costuma fazer uso dos equipamentos para arrefecer/ aquecer o ambiente?

Verão: ☐ Ar Condicionado  
☐ Ventoinha  
☐ Outro: \_\_\_\_\_

Inverno: ☐ Ar Condicionado  
☐ Aquecedor  
☐ Outro: \_\_\_\_\_

#### 3.4. Com que frequência utiliza o(s) equipamentos que selecionou na pergunta acima?

Verão: ☐ Raramente  
☐ Ocasionalmente  
☐ Muitas vezes  
☐ Sempre

Inverno: ☐ Raramente  
☐ Ocasionalmente  
☐ Muitas vezes  
☐ Sempre

AGRADECEMOS O TEMPO DESPENDIDO NO PREENCHIMENTO DESTE INQUÉRITO.

MUITO OBRIGADO

## Anexo III – Padrões de Utilização do Edifício

Tabela A.III. 1 - Padrões de utilização do edifício - Percentagem de ocupação

Horas	Percentagem de Ocupação		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h às 1h	0	0	0
1h às 2h	0	0	0
2h às 3h	0	0	0
3h às 4h	0	0	0
4h às 5h	0	0	0
5h às 6h	0	0	0
6h às 7h	0	0	0
7h às 8h	5	0	0
8h às 9h	80	0	0
9h às 10h	85	0	0
10h às 11h	100	0	0
11h às 12h	95	0	0
12h às 13h	45	0	0
13h às 14h	70	0	0
14h às 15h	95	0	0
15h às 16h	100	0	0
16h às 17h	90	0	0
17h às 18h	50	0	0
18h às 19h	10	0	0
19h às 20h	0	0	0
20h às 21h	0	0	0
21h às 22h	0	0	0
22h às 23h	0	0	0
23h às 24h	0	0	0

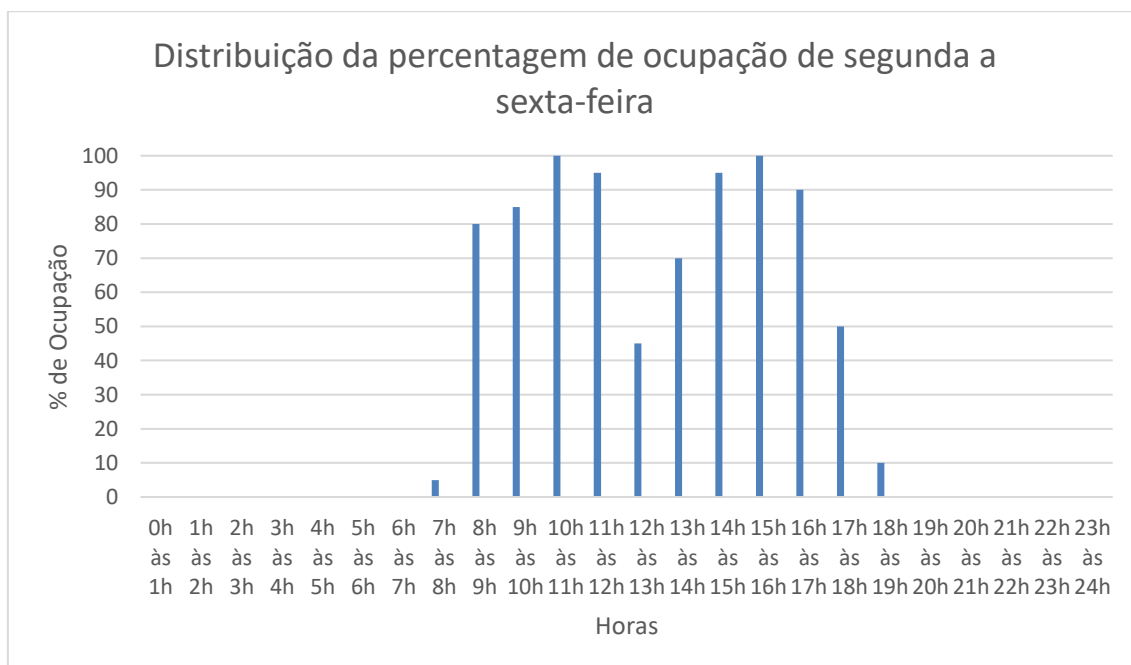


Figura A.III. 1 - Padrões de utilização do edifício – Distribuição da percentagem de ocupação

Tabela A.III. 2 - Padrões de utilização do edifício - Percentagem de iluminação

Percentagem de Iluminação			
Horas	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h às 1h	0	0	0
1h às 2h	0	0	0
2h às 3h	0	0	0
3h às 4h	0	0	0
4h às 5h	0	0	0
5h às 6h	0	0	0
6h às 7h	0	0	0
7h às 8h	15	0	0
8h às 9h	85	0	0
9h às 10h	90	0	0
10h às 11h	100	0	0
11h às 12h	95	0	0
12h às 13h	45	0	0
13h às 14h	60	0	0
14h às 15h	100	0	0
15h às 16h	95	0	0
16h às 17h	80	0	0
17h às 18h	40	0	0
18h às 19h	10	0	0
19h às 20h	0	0	0
20h às 21h	0	0	0
21h às 22h	0	0	0
22h às 23h	0	0	0
23h às 24h	0	0	0

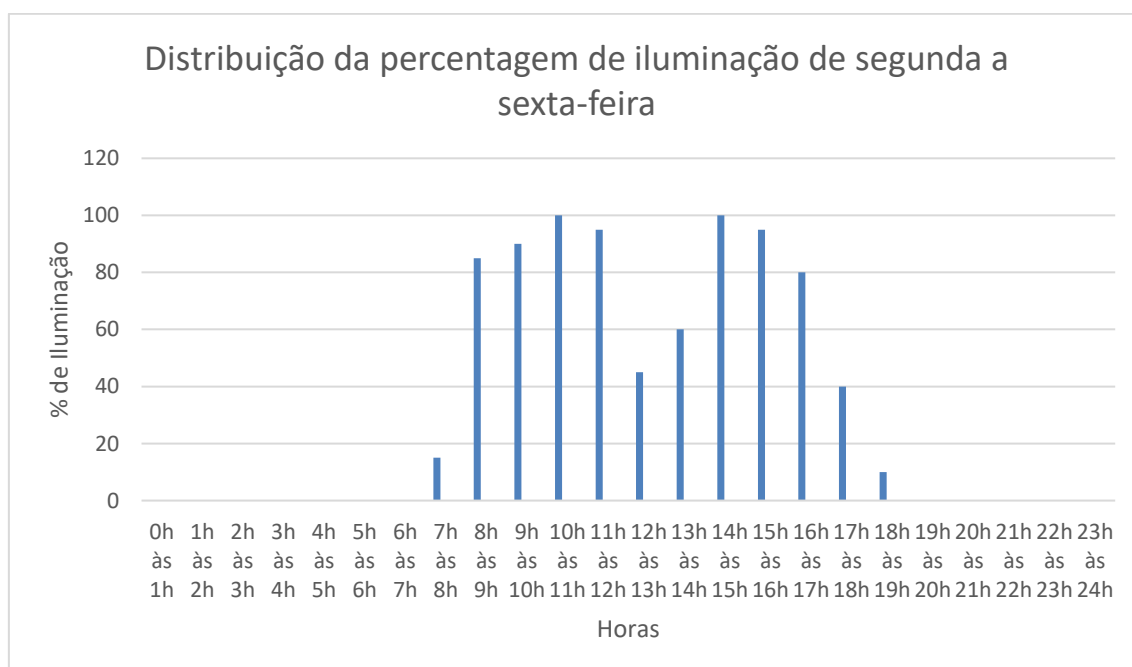


Figura A.III. 2 - Padrões de utilização do edifício – Distribuição da percentagem de iluminação



Tabela A.III. 3 - Padrões de utilização do edifício - Percentagem de equipamentos

Percentagem de Equipamentos			
Horas	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h às 1h	0	0	0
1h às 2h	0	0	0
2h às 3h	0	0	0
3h às 4h	0	0	0
4h às 5h	0	0	0
5h às 6h	0	0	0
6h às 7h	0	0	0
7h às 8h	15	0	0
8h às 9h	85	0	0
9h às 10h	90	0	0
10h às 11h	100	0	0
11h às 12h	95	0	0
12h às 13h	45	0	0
13h às 14h	60	0	0
14h às 15h	100	0	0
15h às 16h	95	0	0
16h às 17h	80	0	0
17h às 18h	40	0	0
18h às 19h	10	0	0
19h às 20h	0	0	0
20h às 21h	0	0	0
21h às 22h	0	0	0
22h às 23h	0	0	0
23h às 24h	0	0	0

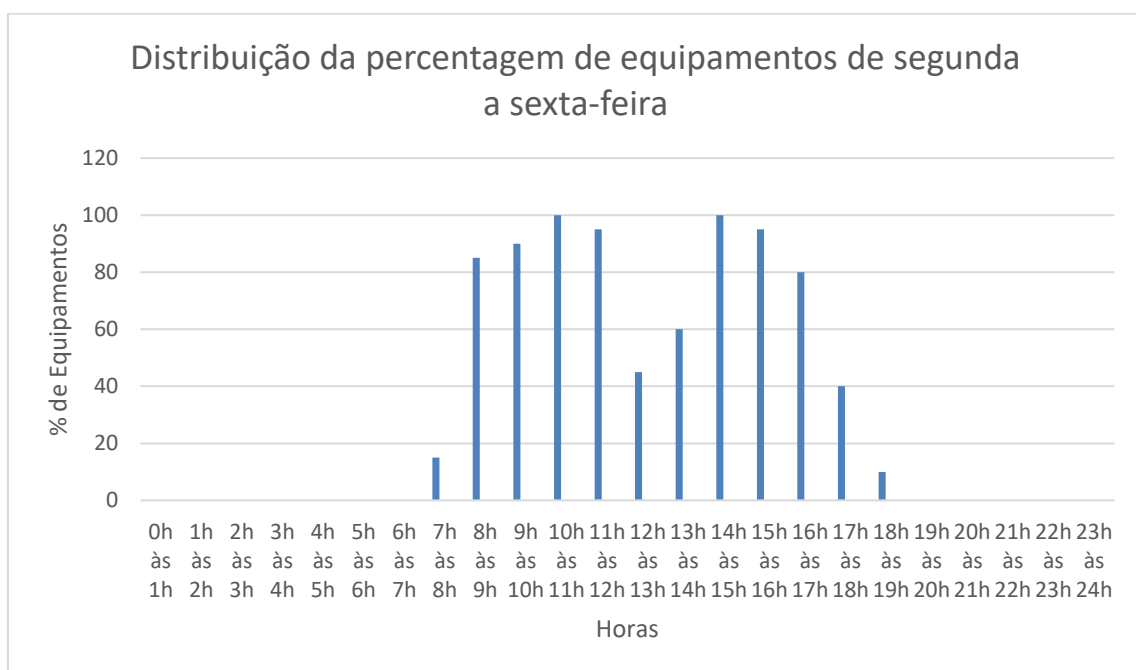


Figura A.III. 3 - Padrões de utilização do edifício – Distribuição da percentagem de equipamentos



## Anexo IV – Temperatura Média Exterior Ponderada (EN 15251)

Tabela A.IV. 1- Temperatura média exterior ponderada para o dia anterior – Período de aquecimento e de arrefecimento (EN 15251)

$\Theta_{ed-i}$	Período de Arrefecimento			Período de Aquecimento		
	Dia	Temperatura exterior [°C]	$\Theta_{rm-1}$	Dia	Temperatura exterior [°C]	$\Theta_{rm-1}$
7	11/24	12,83		05/25	18,99	
6	11/25	11,75		05/26	18,16	
5	11/26	11,85		05/27	17,81	
4	11/27	12,99		05/28	19,63	
3	11/28	14,75		05/29	18,61	
2	11/29	15,85		05/30	19,54	
1	11/30	15,46	14,29	05/31	20,47	19,33

Tabela A.IV. 2 - Temperatura exterior e temperatura média exterior ponderada – Período de aquecimento

Período de Aquecimento								
Dia	Temperatura Exterior	Θ <sub>rm</sub>	Dia	Temperatura Exterior	Θ <sub>rm</sub>	Dia	Temperatura Exterior	Θ <sub>rm</sub>
	[°C]	[°C]		[°C]	[°C]		[°C]	[°C]
11/30	15,46	14,29						
12/01	11,55	14,53	01/01	12,13	11,04	02/01	10,06	8,68
12/02	12,17	13,93	01/02	11,01	11,26	02/02	10,62	8,96
12/03	10,90	13,58	01/03	10,34	11,21	02/03	10,72	9,29
12/04	9,79	13,04	01/04	11,80	11,04	02/04	12,21	9,57
12/05	10,95	12,39	01/05	13,41	11,19	02/05	13,16	10,10
12/06	11,47	12,10	01/06	12,60	11,63	02/06	11,93	10,71
12/07	11,83	11,98	01/07	12,09	11,82	02/07	12,29	10,96
12/08	13,75	11,95	01/08	10,84	11,88	02/08	11,73	11,22
12/09	13,33	12,31	01/09	11,68	11,67	02/09	10,56	11,32
12/10	11,32	12,51	01/10	10,72	11,67	02/10	10,34	11,17
12/11	10,85	12,28	01/11	9,01	11,48	02/11	9,65	11,01
12/12	9,69	11,99	01/12	10,61	10,99	02/12	9,23	10,73
12/13	8,81	11,53	01/13	11,67	10,91	02/13	10,22	10,43
12/14	10,72	10,99	01/14	12,61	11,06	02/14	9,24	10,39
12/15	11,15	10,93	01/15	12,25	11,37	02/15	9,04	10,16
12/16	9,44	10,98	01/16	11,74	11,55	02/16	9,16	9,94
12/17	11,27	10,67	01/17	11,99	11,59	02/17	11,13	9,78
12/18	9,76	10,79	01/18	11,34	11,67	02/18	11,31	10,05
12/19	10,54	10,58	01/19	10,08	11,60	02/19	13,14	10,30
12/20	11,13	10,57	01/20	11,83	11,30	02/20	11,93	10,87
12/21	11,32	10,69	01/21	11,12	11,40	02/21	13,82	11,08
12/22	11,00	10,81	01/22	10,22	11,35	02/22	14,91	11,63
12/23	9,98	10,85	01/23	8,74	11,12	02/23	14,05	12,29
12/24	11,03	10,68	01/24	10,06	10,65	02/24	12,21	12,64
12/25	11,63	10,75	01/25	8,79	10,53	02/25	11,96	12,55
12/26	10,89	10,92	01/26	9,66	10,18	02/26	12,05	12,43
12/27	11,46	10,91	01/27	8,62	10,08	02/27	11,70	12,36
12/28	9,53	11,02	01/28	8,83	9,79	02/28	13,09	12,23
12/29	10,32	10,72	01/29	8,96	9,59			
12/30	12,30	10,64	01/30	7,91	9,47			
12/31	11,31	10,97	01/31	6,76	9,16			

Tabela A.IV. 3 - Temperatura exterior e temperatura média exterior ponderada – Período de arrefecimento

Período de Arrefecimento											
Dia	Temperatura Exterior	Θ <sub>rm</sub>	Dia	Temperatura Exterior	Θ <sub>rm</sub>	Dia	Temperatura Exterior	Θ <sub>rm</sub>	Dia	Temperatura Exterior	Θ <sub>rm</sub>
	[°C]	[°C]		[°C]	[°C]		[°C]	[°C]		[°C]	[°C]
05/31	20,47	19,33									
06/01	18,49	19,56	07/01	21,83	21,05	08/01	24,15	21,75	09/01	22,96	23,05
06/02	17,45	19,34	07/02	22,63	21,20	08/02	25,05	22,23	09/02	21,80	23,03
06/03	17,83	18,97	07/03	21,33	21,49	08/03	25,29	22,79	09/03	20,94	22,79
06/04	18,69	18,74	07/04	21,64	21,46	08/04	23,87	23,29	09/04	21,27	22,42
06/05	18,51	18,73	07/05	22,31	21,49	08/05	22,30	23,41	9/05	19,93	22,19
06/06	16,66	18,68	07/06	20,50	21,66	08/06	22,05	23,19	09/06	21,32	21,74
06/07	18,21	18,28	07/07	18,69	21,42	08/07	20,95	22,96	09/07	21,20	21,65
06/08	19,79	18,27	07/08	19,47	20,88	08/08	21,36	22,56	09/08	21,02	21,56
06/09	19,48	18,57	07/09	20,25	20,59	08/09	22,40	22,32	09/09	21,36	21,45
06/10	20,23	18,75	07/10	20,89	20,53	08/10	21,64	22,33	09/10	20,23	21,43
06/11	19,73	19,05	07/11	22,52	20,60	08/11	22,91	22,20	09/11	19,45	21,19
06/12	19,70	19,18	07/12	23,93	20,98	08/12	21,17	22,34	09/12	20,07	20,85
06/13	20,17	19,29	07/13	24,29	21,57	08/13	21,99	22,10	09/13	21,39	20,69
06/14	19,62	19,46	07/14	24,57	22,12	08/14	23,65	22,08	09/14	20,10	20,83
06/15	20,90	19,50	07/15	26,14	22,61	08/15	23,45	22,39	09/15	20,45	20,68
06/16	20,88	19,78	07/16	24,53	23,31	8/16	23,43	22,61	09/16	21,44	20,64
06/17	22,27	20,00	07/17	23,46	23,56	08/17	22,16	22,77	09/17	19,62	20,80
06/18	21,44	20,45	07/18	24,58	23,54	08/18	22,47	22,65	09/18	19,61	20,56
06/19	19,85	20,65	07/19	24,68	23,75	08/19	20,97	22,61	09/19	18,07	20,37
06/20	19,39	20,49	07/20	24,04	23,93	08/20	20,56	22,28	09/20	19,23	19,91
06/21	20,89	20,27	07/21	23,45	23,95	08/21	20,50	21,94	09/21	19,49	19,77
06/22	22,06	20,39	07/22	23,47	23,85	08/22	19,51	21,65	09/22	20,75	19,72
06/23	21,08	20,73	07/23	22,54	23,78	08/23	21,33	21,22	09/23	21,49	19,92
06/24	20,34	20,80	07/24	22,18	23,53	08/24	22,40	21,24	09/24	22,92	20,24
06/25	22,08	20,71	07/25	22,41	23,26	08/25	22,48	21,48	09/25	22,56	20,77
06/26	23,27	20,98	07/26	20,67	23,09	08/26	22,64	21,68	09/26	24,13	21,13
06/27	21,45	21,44	07/27	20,60	22,61	08/27	23,28	21,87	09/27	24,38	21,73
06/28	19,96	21,44	07/28	20,29	22,20	08/28	23,75	22,15	09/28	23,76	22,26
06/29	20,42	21,15	07/29	21,29	21,82	08/29	25,54	22,47	09/29	23,74	22,56
06/30	21,23	21,00	07/30	21,63	21,72	08/30	23,89	23,08	09/30	22,88	22,80
			07/31	21,96	21,70	08/31	22,27	23,25			-



## Anexo V – Temperatura Exterior Mensal Média (ASHRAE Standard 55)

Tabela A.V. 1 - Temperatura exterior mensal média,  $t_{a(out)}$

Período	Mês	Média mensal do mínimo médio diário	Média mensal do máximo médio diário	Temperatura exterior mensal média
		[°C]	[°C]	[°C]
Aquecimento	Dezembro	8,41	14,57	11,49
	Janeiro	8,15	14,10	11,12
	Fevereiro	8,70	15,08	11,89
Arrefecimento	Junho	14,62	26,71	20,66
	Julho	16,29	29,77	23,03
	Agosto	16,54	30,16	23,35
	Setembro	15,98	28,44	22,21

Tabela A.V. 2 - Temperaturas médias diárias obtidas com recurso ao *EnergyPlus* - Período de aquecimento

Período de Aquecimento								
Dia	Mínimo médio diário	Máximo médio diário	Dia	Mínimo médio diário	Máximo médio diário	Dia	Mínimo médio diário	Máximo médio diário
	[°C]	[°C]		[°C]	[°C]		[°C]	[°C]
12/01	8,42	15,16	01/01	10,04	15,36	02/01	5,68	14,52
12/02	8,68	17,76	01/02	9,90	12,40	02/02	7,30	15,28
12/03	8,66	14,00	01/03	10,30	10,40	02/03	8,50	14,12
12/04	7,76	12,50	01/04	10,42	12,50	02/04	9,50	16,42
12/05	8,88	12,50	01/05	11,80	16,06	02/05	10,40	17,48
12/06	9,66	14,16	01/06	9,32	16,92	02/06	8,20	16,68
12/07	10,30	14,36	01/07	8,52	17,26	02/07	9,70	16,32
12/08	11,20	17,56	01/08	6,68	16,62	02/08	7,80	16,88
12/09	9,52	18,66	01/09	8,60	16,76	02/09	8,10	13,92
12/10	8,42	15,16	01/10	7,22	15,46	02/10	8,70	12,76
12/11	7,62	15,66	01/11	6,66	12,16	02/11	7,10	12,92
12/12	7,16	13,26	01/12	7,92	12,96	02/12	7,10	12,22
12/13	7,06	11,36	01/13	9,28	15,36	02/13	7,00	14,92
12/14	8,02	13,96	01/14	10,30	16,36	02/14	5,00	14,83
12/15	9,04	14,40	01/15	9,02	16,76	02/15	6,00	13,52
12/16	7,76	11,40	01/16	9,54	15,06	02/16	6,10	13,52
12/17	8,62	14,76	01/17	10,70	13,86	02/17	7,78	14,36
12/18	6,32	14,06	01/18	9,16	14,16	02/18	10,00	13,26
12/19	7,04	16,16	01/19	7,42	13,56	02/19	10,93	13,70
12/20	6,93	17,56	01/20	8,70	16,86	02/20	10,00	13,92
12/21	7,32	17,56	01/21	8,32	15,06	02/21	11,03	15,36
12/22	7,62	16,16	01/22	7,32	14,26	02/22	12,70	18,02
12/23	7,86	13,00	01/23	5,92	12,46	02/23	12,06	16,66
12/24	9,08	12,46	01/24	6,94	15,12	02/24	9,90	14,92
12/25	9,36	14,96	01/25	5,52	13,12	02/25	8,76	16,32
12/26	9,36	13,10	01/26	7,00	14,06	02/26	8,90	16,58
12/27	9,24	14,96	01/27	6,02	12,06	02/27	9,00	15,52
12/28	6,66	13,06	01/28	7,30	11,16	02/28	10,30	17,32
12/29	8,06	13,10	01/29	7,44	11,20			
12/30	9,86	15,26	01/30	5,12	11,56			
12/31	9,36	13,76	01/31	4,22	10,26			



Tabela A.V. 3 - Temperaturas médias diárias obtidas com recurso ao *EnergyPlus* - Período de arrefecimento

Período de Arrefecimento											
Dia	Mínimo médio diário	Máximo médio diário	Dia	Mínimo médio diário	Máximo médio diário	Dia	Mínimo médio diário	Máximo médio diário	Dia	Mínimo médio diário	Máximo médio diário
	[°C]	[°C]		[°C]	[°C]		[°C]	[°C]		[°C]	[°C]
06/01	14,06	23,72	07/01	17,40	27,56	08/01	17,79	30,22	09/01	16,60	32,02
06/02	13,00	22,72	07/02	16,90	29,72	08/02	20,36	31,12	09/02	17,30	27,86
06/03	11,86	25,08	07/03	14,80	29,12	08/03	22,20	29,36	09/03	15,20	28,36
06/04	12,00	26,98	07/04	15,90	28,92	08/04	20,16	28,22	09/04	15,80	28,86
06/05	12,10	26,38	07/05	16,86	29,22	08/05	17,26	28,22	09/05	14,26	27,26
06/06	11,50	22,82	07/06	14,90	27,02	08/06	19,16	25,62	09/06	15,50	29,66
06/07	11,30	26,78	07/07	12,40	26,02	08/07	16,66	25,92	09/07	17,20	26,86
06/08	12,40	29,08	07/08	12,60	28,02	08/08	16,06	28,12	09/08	15,30	28,56
06/09	10,86	29,88	07/09	12,80	29,52	08/09	15,92	30,78	09/09	17,00	27,56
06/10	14,10	28,18	07/10	15,40	28,02	08/10	16,12	28,72	09/10	16,80	24,76
06/11	14,80	25,82	07/11	17,78	27,82	08/11	16,42	31,38	09/11	15,30	24,86
06/12	14,00	26,62	07/12	20,20	28,76	08/12	12,48	31,58	09/12	15,20	26,76
06/13	16,32	24,46	07/13	19,80	29,76	08/13	15,34	30,98	09/13	17,40	27,16
06/14	16,60	23,26	07/14	18,00	32,52	08/14	17,34	32,08	09/14	14,90	26,66
06/15	16,40	26,52	07/15	20,68	32,36	08/15	15,52	33,28	09/15	13,40	29,92
06/16	16,60	26,12	07/16	20,00	29,86	08/16	16,12	32,88	09/16	16,50	28,66
06/17	18,42	26,56	07/17	18,20	29,72	08/17	14,52	31,58	09/17	14,30	26,26
06/18	16,50	27,12	07/18	19,10	31,62	08/18	15,02	32,18	09/18	15,00	26,02
06/19	13,06	27,72	07/19	21,20	29,26	08/19	15,22	28,28	09/19	12,30	25,42
06/20	15,00	24,96	07/20	19,50	29,46	08/20	15,32	27,32	09/20	14,40	26,26
06/21	15,50	27,62	07/21	17,40	30,62	08/21	16,46	25,82	09/21	12,60	28,62
06/22	15,70	29,98	07/22	16,00	32,58	08/22	13,56	26,62	09/22	14,50	29,62
06/23	15,30	28,02	07/23	14,30	32,48	08/23	15,14	29,58	09/23	15,40	29,96
06/24	14,70	27,12	07/24	14,80	31,38	08/24	16,94	29,72	09/24	16,60	31,86
06/25	16,80	28,98	07/25	15,60	30,98	08/25	18,16	28,22	09/25	17,60	29,42
06/26	18,60	29,32	07/26	13,30	29,38	08/26	17,26	29,42	09/26	19,60	30,72
06/27	15,80	27,92	07/27	11,46	31,68	08/27	15,62	32,98	09/27	18,76	31,96
06/28	14,60	26,32	07/28	12,90	29,58	08/28	16,02	33,78	09/28	17,20	32,42
06/29	14,80	27,32	07/29	15,00	29,42	08/29	17,82	35,83	09/29	18,30	31,26
06/30	15,86	28,02	07/30	15,10	29,72	08/30	15,62	33,98	09/30	19,30	27,76
			07/31	14,60	31,02	08/31	15,12	31,28			

